Sri Handayani   Ari Damari

BUKU SEKOLAH bse ELEKTRONIK

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas XI





2

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Sri Handayani Ari Damari FISIKA 2 Untuk SMA dan MA Kelas XI

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas XI

Penulis :

Sri Handayani
Ari Damari

2

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

FISIKA

Untuk SMA dan MA Kelas XI

Ukuran Buku	:	17,6 X 25 cm
Font	:	Times New Roman, Albertus Extra Bold
Penulis	:	Sri Handayani Ari Damari
Design Cover	:	Samsoel
Editor	:	Sri Handayani, Ari Damari
Ilustrasi	:	Joemady, Sekar
Setting	:	Dewi, Wahyu, Watik, Eni, Novi
Lay Out	:	Wardoyo, Anton

530.07
SRI SRI Handayani
f Fisika 2 : Untuk SMA/MA Kelas XI / penulis, Sri Handayani, Ari Damari ; editor, Sri Handayani, Ari Damari ; illustrasi, Joemady, Sekar. -- Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vi, 154 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 152
Indeks
ISBN 978-979-068-166-8 (No. Jilid Lengkap)
ISBN 978-979-068-170-5

1.Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Sri Handayani. III. Ari Damari
IV. Joemady V. Sekar

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009
Diperbanyak oleh ...

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Februari 2009
Kepala Pusat Perbukuan

KATA PENGANTAR

Buku Fisika SMA XI ini merupakan buku yang dapat digunakan sebagai buku ajar mata pelajaran Fisika untuk siswa di Sekolah Menengah Atas (SMA) dan Madrasah Aliyah (MA). Buku ini memenuhi kebutuhan pembelajaran Fisika yang membangun siswa agar memiliki sikap ilmiah, objektif, jujur, berfikir kritis, bisa bekerjasama maupun bekerja mandiri.

Untuk memenuhi tujuan di atas maka setiap bab buku ini disajikan dalam beberapa poin yaitu : ***penjelasan materi*** yang disesuaikan dengan pola berfikir siswa yaitu mudah diterima, ***contoh soal dan penyelesaian*** untuk mendukung pemahaman materi dengan disertai soal yang dapat dicoba, ***latihan*** disetiap sub-bab untuk menguji kompetensi yang telah dikuasai, ***latihan*** sebagai wahana siswa untuk mencoba menyelesaikan suatu permasalahan yang bersifat konsep atau kontekstual, ***penting*** yang berisi konsep-konsep tambahan yang perlu diingat, ***rangkuman*** untuk kilas balik materi penting yang perlu dikuasai, dan ***evaluasi bab*** disajikan sebagai evaluasi akhir dalam satu bab dengan memuat beberapa kompetensi dasar.

Penyusun menyadari bahwa buku ini masih ada kekurangan dalam penyusunannya, namun penyusun berharap buku ini dapat bermanfaat bagi bapak/ ibu guru dan siswa dalam proses belajar mengajar. Kritik dan saran dari semua pengguna buku ini sangat diharapkan. Semoga keberhasilan selalu berpihak pada kita semua.

Penyusun

DAFTAR ISI

BAB

1

KINEMATIKA GERAK



Sumber: www.jatim.go.id

Jika kalian belajar fisika maka kalian akan sering mempelajari tentang gerak. Fenomena tentang gerak memang sangat menarik. Coba perhatikan tentang gerak pada gambar di atas. Dari gambar itu saja dapat timbul banyak pertanyaan yang perlu dijawab. Bagaimana kecepatan awal anak tersebut, bagaimana posisi tiap saatnya, bagaimana agar jangkauannya jauh. Ada juga pertanyaan apakah jenis-jenis gerak yang dapat kita amati? Semua hal itu dapat kalian jawab dengan mempelajari bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

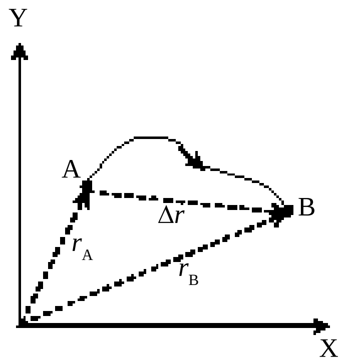
1. menentukan perpindahan, kecepatan dan percepatan sebuah benda yang bergerak secara vektor,
2. menentukan kecepatan sudut, percepatan sudut dan percepatan linier pada benda yang bergerak melingkar,
3. menentukan kecepatan sudut, percepatan sudut dan percepatan linier pada benda yang bergerak parabola.

A. Gerak Translasi

1. Perpindahan dan Jarak

Kalian sering mendengar atau mengucapkan kata bergerak. Apa sebenarnya arti bergerak dalam ilmu fisika? Apakah kalian sudah mengerti? Benda dikatakan bergerak jika mengetahui perubahan posisi atau kedudukan. Coba kalian lihat *Gambar 1.1*. Posisi atau kedudukan titik A dan titik B dapat dituliskan sebagai vektor dua dirumuskan sebagai berikut.

$$r = xi + yj \qquad \text{................................} \quad (1.1)$$



Gambar 1.1

Partikel dari titik A pindah ke titik B maka partikel tersebut dikatakan telah bergerak dan perpindahannya memenuhi persamaan berikut.

$$\Delta r = r_B - r_A$$
atau
$$\Delta r = \Delta xi + \Delta yj \qquad \text{................................} \quad (1.2)$$

Jarak tempuh

Perpindahan partikel pada *Gambar 1.1* digambarkan sebagai vektor dari A ke B yaitu *vektor* Δ*r*. Bagaimana dengan jarak tempuhnya? *Jarak tempuh* partikel adalah panjang lintasan yang dilakukan partikel selama bergerak.

Penting

Besaran vektor	Besaran skalar
• posisi	• jarak
• perpindahan	• jarak tempuh
• kecepatan	• laju
• percepatan	• pelajuan

2. Kecepatan dan Laju

Setiap benda yang bergerak selalu mengalami perpindahan. Perpindahan yang terjadi tiap satu satuan waktunya diukur dengan besaran yang dinamakan kecepatan. Di kelas X kalian telah belajar tentang kecepatan. Apakah masih ingat? Coba kalian perhatikan penjelasan berikut.

a. Kecepatan dan kelajuan rata-rata

Jika kita naik mobil atau sepeda motor, kecepatannya tidaklah tetap. Kadang bisa cepat dan kadang lambat, bahkan saat lampu merah harus berhenti. Pada gerak dari awal hingga akhir dapat diperoleh suatu kecepatan yang dinamakan kecepatan rata-rata dan didefinisikan sebagai perpindahan tiap satu satuan waktu. Perumusannya sebagai berikut.

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \qquad \text{................................} \quad (1.3)$$

Laju rata-rata. Bagaimana dengan laju rata-rata? Kecepatan adalah besaran vektor maka berkaitan dengan perpindahan. Tetapi laju merupakan besaran skalar maka

harus berkaitan dengan jarak tempuh. Sehingga laju rata-rata didefinisikan sebagai jarak tempuh yang terjadi tiap satu satuan waktu

$$\overline{v} = \frac{S}{t} \qquad \text{.................................} \qquad (1.4)$$

b. Kecepatan dan kelajuan sesaat

Kalian tentu masih ingat di kelas X tentang kecepatan sesaat. Kecepatan sesaat merupakan kecepatan yang terjadi pada saat itu saja. Contohnya pada saat lampu merah kecepatan mobil sebesar nol, kemudian saat lampu hijau mobil tersebut diberikan kecepatan 20 km/jam ke utara.

Secara matematik kecepatan sesaat ini dapat dirumuskan sebagai *deferensial* atau turunan fungsi yaitu fungsi posisi. Jadi kecepatan sesaat adalah deferensial dari posisinya.

$$\bar{v} = \frac{dr}{dt} \qquad \text{.................................} \qquad (1.5)$$

Sedangkan laju sesaat dapat ditentukan sama dengan besar kecepatan sesaat. Laju sesaat inilah yang dapat diukur dengan alat yang dinamakan *speedometer.*

Sudah tahukah kalian dengan deferensial fungsi itu? Tentu saja sudah. Besaran posisi atau kecepatan biasanya memenuhi fungsi waktu. Deferensial fungsi waktu tersebut dapat memenuhi persamaan berikut.

Jika $r = t^n$

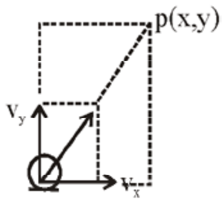
maka $v = \frac{dr}{dt} = nt^{n-1}$ .... (1.6)

Pada gerak dua dimensi, persamaan 1.5 dan 1.6 dapat dijelaskan dengan contoh gerak perahu seperti pada *Gambar 1.2*. Secara vektor, kecepatan perahu dapat diuraikan dalam dua arah menjadi v_x dan v_y. Posisi tiap saat memenuhi P(x,y). Berarti posisi perahu atau benda dapat memenuhi persamaan 1.1. dari persamaan itu dapat diturunkan persamaan kecepatan arah sumbu x dan sumbu y sebagai berikut.

$$r = xi + yj$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j$$

$$v = v_x i + v_y j \qquad \text{.................................} \qquad (1.7)$$



Gambar 1.2
Gerak perahu dapat diuraikan dalam dua sumbu (dua arah)

Penting

Deferensial suatu fungsi memenuhi persamaan berikut

$$y = t^n$$

$$\frac{dy}{dt} = n\,t^{n-1}$$

Jadi proyeksi kecepatannya memenuhi :

$$v_x = \frac{dx}{dt} \text{ dan } v_y = \frac{dy}{dt}$$

Besar kecepatan sesaat, secara vektor dapat memenuhi dalil Pythagoras. Kalian tentu dapat merumuskan persamaan besar kecepatan tersebut. Perhatikan persamaan 1.7. Dari persamaan itu dapat kalian peroleh :

$$|v| = \sqrt{v_x^{\,2} + v_y^{\,2}} \qquad \text{.........................} \quad (1.8)$$

Untuk memenuhi penjelasan di atas dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 1.1

Partikel bergerak dengan posisi yang berubah tiap detik sesuai persamaan : $r = (4t^2 - 4t + 1)\, i + (3t^2 + 4t - 8)\, j$. dengan *r* dalam m dan t dalam s. *i* dan *j* masing-masing adalah vektor satuan arah sumbu X dan arah sumbu Y. Tentukan:

a. posisi dan jarak titik dari titik acuan pada t = 2s,
b. kecepatan rata-rata dari t = 2s s.d t = 3s,
c. kecepatan dan laju saat t = 2s!

Penyelesaian

$r = (4t^2 - 4t + 1)\, i + (3t^2 + 4t - 8)\, j$

a. Untuk t = 2s

$r_2 = (4.2^2 - 4.2 + 1)\, i + (3.2^2 + 4.2 - 8)\, j$

$r_2 = 9\, i + 12\, j$

jarak : $|r_2| = \sqrt{9^2 + 12^2} = \sqrt{225} = 15$ m

b. Kecepatan rata-rata

$r_2 = 9\, i + 12\, j$

$r_3 = (4.3^2 - 4.3 + 1)\, i + (3.3^2 + 4.3 - 8)\, j$

$ = 25\, i + 31\, j$

Kecepatan rata-ratanya memenuhi:

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

$$= \frac{(25i + 31j) - (9i + 12j)}{3 - 2} = 16\, i + 19\, j$$

besarnya:

$$|\bar{v}| = \sqrt{16^2 + 19^2} = \sqrt{617} = 24{,}8 \text{ m/s}$$

c. Kecepatan sesaat

$$v = \frac{dr}{dt}$$

$$= \frac{d}{dt}\left\{(4t^2 - 4t + 1)i + (3t^2 + 4t - 8)j\right\}$$

$$= (8t - 4)i + (6t + 4)j$$

untuk t = 2s:

$$v_2 = (8.2 - 4)i + (6.2 + 4)j$$

$$= 12\, i + 16\, j$$

laju sesaatnya sama dengan besar kecepatan sesaat

$$|v_2| = \sqrt{12^2 + 16^2} = \sqrt{400} = 20 \text{ m/s}$$

Penting

Secara vektor kecepatan sesaat dapat dituliskan:

$$v = v_x\, i + v_y\, j$$

Besarnya kecepatan sesaat sama dengan laju sesaat memenuhi dalil Pythagoras:

$$|v| = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Gerak suatu benda dinyatakan dengan persamaan $r = (2t^2 - 4t + 8)i + (1{,}5t^2 - 3t - 6)j$. Semua besaran menggunakan satuan SI.

Tentukan:

a. posisi dan jarak benda dari titik pusat koordinat pada t = 1s dan t = 2s,

b. kecepatan rata-rata dari t = 1s s.d t = 2s,

c. kecepatan dan laju saat t = 2s.

c. Posisi dan kecepatan

Jika kecepatan sesaat dapat ditentukan dengan deferensial posisi maka secara matematis posisi dapat ditentukan dari integral kecepatan sesaatnya. Integral ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$r = r_0 + \int v\, dt \quad \text{..............................} \quad (1.9)$$

Definisi integral secara mendetail dapat kalian pelajari di mata pelajaran Matematika. Untuk mata pelajaran Fisika kelas XI ini dikenalkan untuk fungsi t^n. Perhatikan persamaan berikut.

$$\int t^n\, dt = \frac{t^{n+1}}{n+1} + C \quad \text{............................}$$

Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 1.2

Tentukan hasil integral-integral berikut.

a) $\int (2t+5)\,dt = 2\frac{t^{1+1}}{(1+1)} + 5\frac{t^{0+1}}{(0+1)} + C$

$= 2\frac{t^2}{2} + 5\frac{t^1}{1} + C$

$= t^2 + 5t + C$

b) $\int (6t^2 + 4t - 6)\,dt = \frac{6t^3}{3} + 4\frac{t^2}{2} - 6t$

$= 2t^3 + 2t - 6t + C$

c) $\int (2t - 3t^2)\,dt = \frac{2t^2}{2} - \frac{3}{3}t^2 + C$

$= t^2 - t^3 + C$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Tentukan hasil integral berikut.

a. $\int 2\,dt$ b. $\int (4t-2)\,dt$ c. $\int (2t^2 - 6t + 2)\,dt$

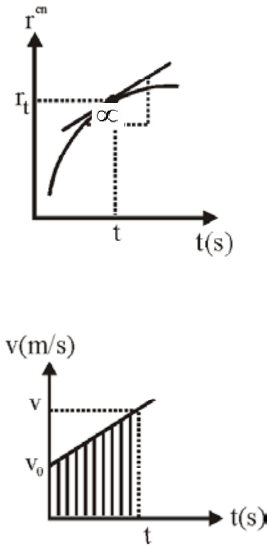
Hubungan kecepatan dan posisi ini dapat dijelaskan melalui grafik. Perhatikan penjelasan berikut.

Seperti yang telah kalian pelajari bahwa kecepatan merupakan deferensial dari fungsi posisi. Dengan grafik, kecepatan sesaat dapat menyatakan gradien garis singgung fungsi posisi. Perhatikan *Gambar 1.3 (a)*. Kecepatan pada saat t dapat dirumuskan :

$$v = \text{tg}\,\alpha \qquad \text{..................} \quad (1.11)$$

Sedangkan posisi suatu benda pada t s merupakan integral dari fungsi kecepatannya. Bagaimana jika diketahui dalam bentuk grafik seperti pada *Gambar 1.3 (b)*? Tentu kalian dapat menjawabnya bahwa posisi suatu benda dapat dibentuk dari luas grafik (terarsir), sehingga diperoleh persamaan:

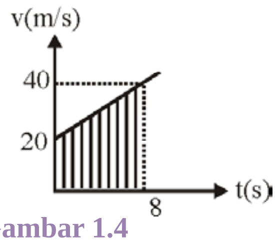
$$r = r_o + \text{luas daerah terarsir} \qquad \text{.................} \quad (1.12)$$



Gambar 1.3
(a) fungsi r - t, dan
(b) fungsi v - t

CONTOH 1.3

Kecepatan suatu benda berubah tiap saat memenuhi grafik v - t seperti pada *Gambar 1.4*. Jika mula-mula benda berada pada posisi 30 m arah sumbu x dan gerak benda pada arah sumbu x positif, maka tentukan posisi benda pada t = 8 s!



Gambar 1.4

Penyelesaian

Gerak benda pada arah sumbu x, berarti

r (t) = x (t)

x_0 = 30 m

Pada t = 8 s posisinya memenuhi :

x = x_0 + luas (daerah terarsir)

$= 30 + (20 + 40) \cdot \frac{8}{2}$

$= 270$ m

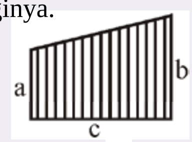
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Mula-mula sebuah partikel pada posisi x = -120 m.

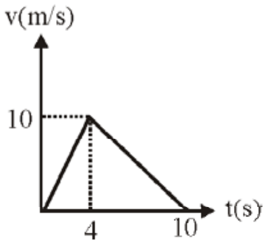
Kemudian partikel bergerak dengan kecepatan bentuk seperti pada *Gambar 1.5*. Tentukan posisi partikel

Penting

Luas trapesium sama dengan jumlah sisi sejajar kali $\frac{1}{2}$ tingginya.



Luas = (a + b) $\frac{c}{2}$



Gambar 1.5

3. Percepatan

a. Nilai rata-rata dan sesaat

Sesuai dengan kecepatan, percepatan juga memiliki dua nilai. Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perubahan kecepatan tiap satu satuan waktu.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad \text{............................} \quad (1.13)$$

Sedangkan percepatan sesaat dapat ditentukan dengan deferensial dari kecepatan sesaatnya.

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} \qquad \text{............................} \quad (1.14)$$

CONTOH 1.4

Sebuah gerak partikel dapat dinyatakan dengan persamaan $r = (t^3 - 2t^2)\, i + (3t^2)\, j$. Semua besaran memiliki satuan dalam SI. Tentukan besar percepatan gerak partikel tepat setelah 2s dari awal pengamatan!

Penyelesaian

$r = (t^3 - 2t^2)\, i + (3t^2)\, j$

Kecepatan sesaat diperoleh:

$$\bar{v} = \frac{dr}{dt}$$

$$= \frac{d}{dt}\left\{(t^3 - 2t^2)i + (3t^2)j\right\} = (3t^2 - 4t)\, i + (6t)\, j$$

Percepatan sesaatnya :

$$a = \frac{dv}{dt} = (6t - 4)i + 6j$$

Untuk t = 2s:

$a^2 = (6.2 - 4)\ i + 6j = 8i + 6j$

Jadi besar percepatannya memenuhi:

$$|a_2| = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ m/s}^2$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Posisi setiap saat dari sebuah benda yang bergerak dinyatakan dengan persamaan : $r = (2 + 8t - 4t^2)i + (3t^2 - 6t - 10)j$. r dalam m dan t dalam s. Berapakah besar percepatan benda saat t = 2s?

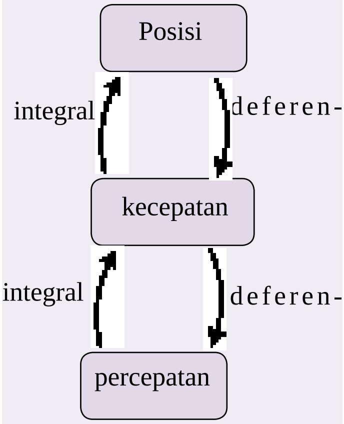
b. Kecepatan dan percepatan

Jika percepatan sesaat dapat ditentukan dengan deferensial dari kecepatan sesaat maka sebaliknya berlaku integral berikut.

$$v = v_0 + \int a\, dt \quad \text{............................} \quad (1.15)$$

Untuk memahami persamaan-persamaan di atas dapat kalian cermati contoh berikut.

Penting



CONTOH 1.5

Sebuah partikel bergerak lurus dengan percepatan $a = (2 - 3t^2)$. a dalam m/s² dan t dalam s. Pada saat t = 1s, kecepatannya 3 m/s dan posisinya $\frac{3}{4}$ m dari titik acuan. Tentukan:

a. kecepatan pada t = 2s,

b. posisi pada t = 2s.

Penyelesaian

$a = (2 - 3t^2)$

t = 1s, v_1 = 3 m/s dan $S_1 = \frac{3}{4}$ m

t = 2s, v_2 = ? dan S_2 = ?

a. Kecepatan partikel merupakan integral dari percepatan partikel.

$$v = v_0 + \int a\, dt$$
$$= v_0 + \int (2 - 3t^2)\, dt = v_0 + 2t - t^3$$

Untuk t = 1s:

$3 = v_0 + 2.1 - 1^3$

v_0 = 2 m/s

jadi : $v = 2 + 2t - t^3$

dan untuk t = 2s diperoleh:

$v(2) = 2 + 2\ .\ 2 - 2^3 = -2$ m/s

b. Posisi merupakan integral dari kecepatan sehingga diperoleh:

$$S = S_0 + \int v\,dt$$

$$= S_0 + \int (2 + 2t - t^3)\,dt = S_0 + 2t + t^2 - \frac{1}{4}t^4$$

Untuk t = 1s:

$$\frac{3}{4} = S_0 + 2.1 + 1^2 - \frac{1}{4}.1^4 \text{ berarti } S_0 = -1 \text{ m}$$

Jadi : $S = -1 + 2t + t^2 - \frac{1}{4}t^4$

dan untuk t = 2s diperoleh:

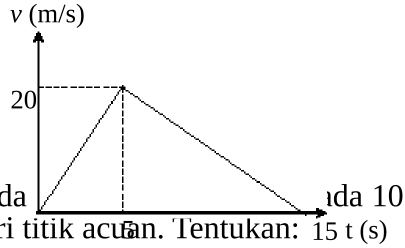
$$S(2) = -1 + 2.2 + 2^2 - \frac{1}{4}.2^4 = 5 \text{ m}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda yang bergerak pada garis lurus memiliki percepatan yang berubah terhadap waktu sesuai persamaan : $a = (4 - 6t)$ m/s^2 dan t dalam s. Pada saat t = 1s terukur posisi dan kecepatan benda masing-masing 4 m dan 1 m/s. Tentukan posisi dan kecepatan benda pada t = 2 s.

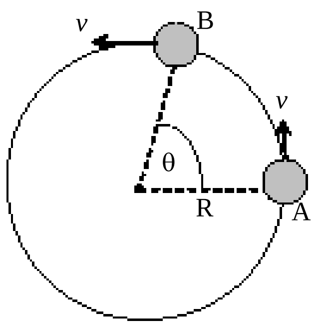
LATIHAN 1.1

1. Sebuah benda bergerak dengan posisi yang berubah tiap detik sesuai persamaan: $r = (2 + 4t + 4t^2)i + (1 + 3t + 3t^2)j$. Tentukan:
   a. posisi awal dan posisi pada t = 1 s,
   b. besar perpindahan pada 1s pertama,
   c. kecepatan rata-rata dari t = 0 s s.d 1 s,
   d. kecepatan pada saat t = 2 s,
   e. percepatan pada t = 3 s !
2. Kecepatan benda berubah sesuai persamaan $v = (10t + 2)i + (24t - 5)j$. v dalam m dan t dalam s. Berapakah:
   a. percepatan benda pada t = 2 s,
   b. posisi benda pada t = 2 s jika posisi awalnya di titik pusat koordinat?
3. Sebuah partikel bergerak dengan kecepatan $v = (4 - 6t^2)$ m/s. dan t dalam s. Pada saat t = 2 s partikel benda 4 m dari titik acuan. Berapakah jarak partikel dari titik acuan pada t = 5 s ?
4. Kecepatan benda yang bergerak pada garis lurus berubah seperti pada grafik di bawah.



   Pada ... ada 10 m dari titik acuan. Tentukan:
   a. jarak tempuh benda pada t = 15 m,
   b. posisi benda dari titik acuan t = 15 m,
   c. percepatan benda pada t = 2 s dan t = 10 s !
5. Bola voli dilemparkan vertikal ke atas sehingga memenuhi persamaan $y = 20 + 10t - 5t^2$. Tentukan ketinggian maksimum yang dicapai bola tersebut!

B. Gerak Melingkar



Gambar 1.6
Benda bergerak melingkar.

1. Besaran-besaran pada Gerak Melingkar

Di kelas X kalian telah belajar tentang gerak melingkar, masih ingat belum? Coba kalian lihat pada *Gambar 1.6*, sebuah benda bergerak dari titik A ke titik B dengan lintasan melingkar. Pada gerak itu memiliki besaran yang berupa posisi sudut θ. Besaran-besaran yang lain dapat kalian lihat pada penjelasan berikut.

a. Kecepatan sudut

Jika benda bergerak pada lintasan melingkar berarti posisi sudutnya juga berubah. Perubahan posisi tiap detik inilah yang dinamakan *kecepatan sudut rata-rata*.

$$\overline{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \qquad \text{.................. (1.16)}$$

Sesuai dengan definisi kecepatan sesaat maka *kecepatan sudut sesaat* juga dapat didefinisikan sebagai deferensial dari posisi sudut. Sebaliknya posisi sudut dapat ditentukan dari integral kecepatan sudut.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\text{dan} \quad \theta = \theta_0 + \int \omega\, dt \qquad \text{.................. (1.17)}$$

b. Percepatan sudut sesaat

Bagaimana jika kecepatan sudut suatu benda yang bergerak mengalami perubahan? Tentu kalian sudah bisa menjawabnya, bahwa benda tersebut memiliki percepatan sudut. *Percepatan sudut sesaat* didefinisikan sebagai deferensial dari kecepatan sudut sesaat. Sebaliknya akan berlaku bahwa kecepatan sudut sesaat merupakan integral dari percepatan sudutnya.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\text{dan} \quad \omega = \omega_0 + \int \alpha\, dt \qquad \text{.................. (1.18)}$$

Kecepatan sudut biasa disebut juga kecepatan anguler sehingga percepatan sudut sama dengan percepatan anguler.

CONTOH 1.6

Benda yang bergerak melingkar kecepatan sudutnya berubah sesuai persamaan $\omega = (3t^2 - 4t + 2)$ rad/s dan t dalam s. Pada saat t = 1s, posisi sudutnya adalah 5 rad. Setelah bergerak selama t = 2s pertama maka

tentukan:
a. percepatan sudut,
b. posisi sudutnya!

Penyelesaian

$\omega = (3t^2 - 4t + 2)$

$t = 1s \rightarrow \theta_1 = 5$ rad

$t = 2s \rightarrow \theta_2 = ?$ dan $\alpha_2 = ?$

a. Percepatan sudut sesaatnya adalah deferensial dari ω.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\alpha = \frac{d}{dt}\left\{(3t^2 - 4t + 2)\right\} = 6t - 4$$

untuk t = 2s:

$d(2) = 6.2 - 4 = 8 \text{ rad/s}^2$

b. Posisi sudut sama dengan integral dari ω.

$$\theta = \theta_0 + \int \omega\, dt$$

$$\theta = \theta_0 + \int (3t^2 - 4t + 2)\, dt = \theta_0 + t^3 - 2t^2 + 2t$$

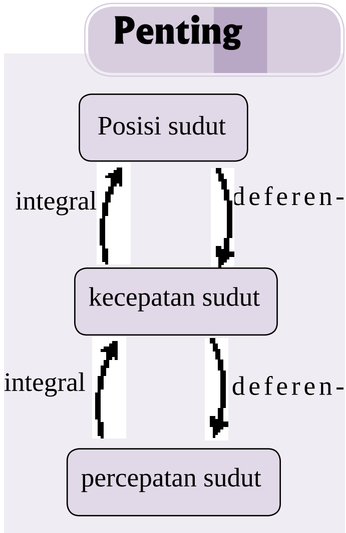
untuk t = 1s

$5 = \theta_0 + 1^3 - 2.1^2 + 2.1$ berarti $\theta_0 = 4$ rad

Berarti untuk t = 2s dapat diperoleh:

$\theta = 4 + t^3 - 2t^2 + 2t$

$= 4 + 2^3 - 2.2^2 + 2.2 = 8$ rad



Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah partikel bergerak pada lintasan melingkar dengan posisi sudut yang berubah sesuai persamaan : $\theta = (8 - 2t + 6t^2)$ rad. t dalam s. Tentukan:
a. kecepatan sudut saat t = 3 s,
b. percepatan sudut saat t = 2 s !

2. Besaran Sudut dan Linier

a. Hubungan besaran

Setelah kalian belajar besaran-besaran pada gerak melingkar maka dapat diketahui adanya berbagai jenis besaran yang memiliki kemiripan seperti kecepatan dengan kecepatan sudut. Tahukah kalian apakah besaran-besaran itu ada hubungannya? Jika ada bagaimana hubungannya? Coba kalian perhatikan lagi *Gambar 1.6*. Panjang busur AB berada di depan sudut θ dan dengan jari-jari R. Secara matematis hubungan seperti berikut.

$$S = \theta \, . \, R \qquad ....(1.19)$$

Sesuai dengan persamaan 1.19 inilah kemudian dapat diturunkan hubungan-hubungan yang lain yaitu untuk kecepatan dan percepatan. Hubungan itu sesuai dengan persamaan berikut.

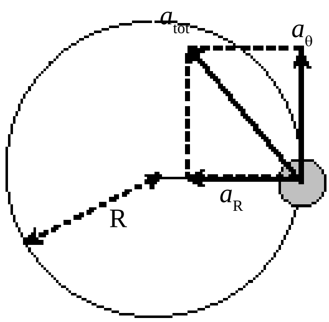
$$v = \omega R$$
$$a_\theta = \alpha R \qquad ....(1.20)$$

dengan : v = kecepatan linier
ω = kecepatan sudut
a_θ = percepatan tangensial
α = percepatan sudut
R = jari-jari lintasan

b. Percepatan linier

Masih ingat di kelas X, bahwa setiap benda yang bergerak melingkar selalu memiliki percepatan yang arahnya ke pusat lintasan. Tentu kalian masih ingat bahwa percepatan tersebut adalah percepatan sentripetal atau disebut juga percepatan radial. Besarnya seperti persamaan berikut.

$$a_R = \frac{v^2}{R} \quad \text{atau} \quad a_R = \omega^2 R \qquad ....(1.21)$$



Gambar 1.7
Percepatan a_θ tegak lurus a_R

Dari penjelasan di atas, berarti benda yang bergerak melingkar dapat memiliki dua percepatan yang saling tegak lurus (jika $a_\theta \neq 0$). Lihat *Gambar 1.7*, a_θ tegak lurus a_R sehingga percepatan linier totalnya memenuhi dalil Pythagoras.

$$a_{tot} = \sqrt{a_R^{\,2} + a_\theta^{\,2}} \qquad .... (1.22)$$

CONTOH 1.7

Sebuah batu diikat dengan tali sepanjang 20 cm kemudian diputar sehingga bergerak melingkar dengan kecepatan sudut $\omega = 4t^2 - 2$ rad/s. Setelah bergerak 2s, tentukan:

a. kecepatan linier batu,
b. percepatan tangensial,
c. percepatan linier total.

Penyelesaian

R = 2 cm = 0,2 m
ω = $4t^2 - 2$
t = 2s

a. Kecepatan sudut pada t = 2 s memenuhi:

$\omega = 4.2^2 - 2 = 14$ rad/s

Berarti kecepatan liniernya sebesar:

$v = \omega R = 14 . 0,2 = 2,8$ m/s

b. Percepatan sudut batu memenuhi:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}(4t^2 - 2) = 8\ t$$

Untuk t = 2 s:

$\alpha = 8.2 = 16$ rad/s^2

Percepatan tangensialnya sebesar:

$a_\theta = \alpha R = 16 . 0,2 = 3,2$ m/s^2

c. Percepatan radialnya memenuhi:

$a_R = \omega^2 R$

$= 142 . 0,2 = 39,2$ m/s^2

Berarti percepatan linier totalnya sebesar:

$$a_{tot} = \sqrt{a_R{}^2 + a_\theta{}^2}$$

$$= \sqrt{(39,2)^2 + (3,2)^2} = \sqrt{1546,88}$$

$= 39,3$ m/s^2

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Posisi sudut sebuah benda yang bergerak pada lintasan dengan jari-jari 0,5 m berubah menurut persamaan : $\theta = (10t^2 - 6t + 2)$ rad. Setelah bergerak 2s, tentukan :(a) panjang lintasan yang ditempuh, (b) kecepatan liniernya, (c) percepatan tangensialnya dan (d) percepatan linier totalnya!

aduan gerak

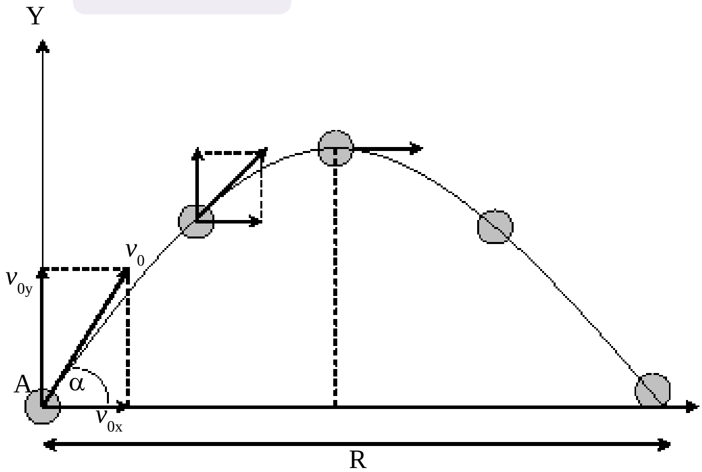
ATIHAN 1.2

1. Benda yang bergerak melingkar posisi sudutnya berubah sesuai persamaan $\theta = 2t^2 + 5t - 8$ rad dan t dalam s. Tentukan:
   a. kecepatan sudut rata-rata dari t = 1s s.d 2s,
   b. kecepatan sudut pada t = 2s,
   c. percepatan sudut pada t = 2s.
2. Kecepatan sudut benda memenuhi $\omega = 6t^2 - 4$ rad/s. Pada saat t = 2s posisi sudut benda sebesar 30 rad. Tentukan posisi sudut benda pada t = 3s.
3. Partikel bergerak rotasi dengan kecepatan awal 20 rad/s dan mengalami percepatan $a_\theta = 4t$ rad/s^2. Jari-jari lintasannya tetap 40 cm. Tentukan besar sudut yang ditempuh pada saat t = 3s dan jarak tempuh gerak partikel!
4. Dari keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut 15 rad/s^2. Titik A berada pada benda tersebut, berjarak 10 cm dari sumbu putar. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 sekon, berapakah percepatan total titik A?

C. Gerak Parabola

Bagaimana lintasan bola yang dilempar miring dengan sudut tertentu? Gerak yang terjadi dinamakan gerak parabola atau gerak peluru. Coba perhatikan *Gambar 1.8*. Jika bola dilemparkan dengan kecepatan v_0 dan sudut elevasi α maka kecepatannya dapat diproyeksikan ke arah mendatar (sumbu X) dan arah vertikal (sumbu Y). Persamaannya seperti di bawah.

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$
$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha \qquad \text{................................(1.23)}$$



Gambar 1.8
Gerak parabola dari sebuah benda yang diberi kecepatan awal membentuk sudut tertentu

Pada arah sumbu X (horisontal) v_{0x} tidak dipengaruhi oleh percepatan sehingga terjadi gerak lurus beraturan (GLB). Sehingga berlaku hubungan berikut.

$$v_x = v_{0x}$$
$$\text{dan } x = v_x\, t \qquad \text{................................(1.24)}$$

Pada arah sumbu Y (vertikal), v_{0y} akan dipengaruhi percepatan gravitasi yang arahnya ke bawah dan besarnya g = 10 m/s². Sehingga pada arah ini terjadi gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diperlambat. Perumusannya berlaku persamaan berikut.

$$v_y = v_{0y} - gt$$
$$\text{dan } y = v_{0y}\, t - \tfrac{1}{2} gt^2 \qquad \text{...............................(1.25)}$$

Dari penjelasan di atas kalian tentu sudah bisa menyimpulkan bahwa gerak parabola terjadi karena *perpaduan gerak* GLB dan GLBB yang saling tegak lurus.

CONTOH 1.8

Bola dilemparkan dengan kecepatan awal 25 m/s dari tanah dan sudut elevasinya 37^0 (sin 37^0 = 0,6). Percepatan gravitasi g = 10 m/s^2. Tentukan:

a. kecepatan bola pada 1 sekon pertama,

b. posisi bola pada 2 sekon pertama!

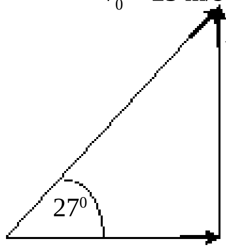
Penyelesaian

v_0 = 25 m/s

α = 37^0

g = 10 m/s^2

Perhatikan proyeksi kecepatan awal pada *Gambar1.9*.



Gambar 1.9
Proyeksi kecepatan awal v_0.

a. Kecepatan pada t = 1s memenuhi:

$v_x = v_{0x} = 20$ m/s

$v_y = v_{0y} - g\,t$

$= 15 - 10.1 = 5$ m/s

Dari nilai kecepatan v_x dan v_y dapat diperoleh kecepatan bola pada t = 1 s dengan menggunakan dalil Pythagoras sehingga diperoleh:

$v = \sqrt{v_x^{\;2} + v_y^{\;2}}$

$= \sqrt{20^2 + 5^2} = \sqrt{425} = 296$ m/s

b. Posisi bola pada t = 2 s memenuhi:

$x = v_x\,t$

$= 20.2 = 40$ m

$y = v_{0y}\,t - \frac{1}{2}\,gt^2$

$= 15.2 - \frac{1}{2}.10.2^2 = 10$ m

Posisi bola dapat ditentukan seperti di bawah.

r = (x, y) = (40, 10) m

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Peluru ditembakkan dengan kecepatan awal 50 m/s dan sudut elevasi 53^0 (sin 53^0 = 0,8). Tentukan:

a. kecepatan peluru pada t = 1s, 2s dan 4s,

b. posisi peluru pada t = 1s, 2s dan 4s!

2. Titik Tertinggi dan Terjauh

a. Titik tertinggi

Jika kalian lihat kembali *Gambar 1.8* maka dapat diketahui bahwa titik tertinggi terjadi di titik B. Apakah sifat-sifat yang perlu kalian ketahui? Kalian tentu bisa melihatnya. Di titik B kecepatannya hanya pada arah horisontal saja sehingga persamaan berikut.

$$v_B = v_x$$
$$v_y = 0 \qquad \text{.......................................} \quad (1.26)$$

Dari nilai v_y dapat ditentukan waktu sampai di titik puncak.

$$v_y = v_0 \sin\alpha - g\, t_m = 0$$
$$t_m = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$$

Substitusikan nilai t_m di atas pada persamaan ketinggian yaitu dari persamaan 1.25. Sehingga diperoleh:

$$y = v_0 \sin\alpha\, t - \tfrac{1}{2}\, g\, t^2$$
$$y_m = v_0 \sin\alpha \left(\frac{v_0 \sin\alpha}{g}\right) - \tfrac{1}{2}\, g \left(\frac{v_0 \sin\alpha}{g}\right)^2$$
$$= \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$$

Jadi tinggi maksimum yang dicapai pada gerak parabola memenuhi persamaan berikut.

$$y_m = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} \qquad \text{.......................................} \quad (1.27)$$

dengan : y_m = tinggi maksimum (m)
v_0 = kecepatan awal (m/s)
α = sudut elevasi
g = percepatan gravitasi (m/s^2)

b. Titik terjauh

Pada *Gambar 1.8*, titik terjauh terjadi pada titik C. Pada titik tersebut y = 0 berarti dapat diperoleh waktunya sebagai berikut.

$$y = v_0 \sin\alpha\, t - \tfrac{1}{2}\, g\, t^2 = 0$$
$$(v_0 \sin\alpha\, t - \tfrac{1}{2}\, g\, t)\, t = 0$$

$$t = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

Jangkauan terjauh yang dicapai benda sebesar R. Nilai R dapat ditentukan dengan substitusi t pada persamaan 1.24.

$$x = v_x\, t$$

$$x = v_0 \cos\alpha \cdot \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$x = \frac{v_0^{\,2} \sin 2\alpha}{g} \qquad \text{.......................... (1.28)}$$

Penting

Rumus trigonometri sudut rangkap memenuhi:

$\sin 2\alpha = 2 \sin\alpha \cos\alpha$

$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha$

CONTOH 1.9

Sebutir peluru ditembakkan dari senapan dengan kecepatan awal 100 m/s. Sudut elevasi saat itu sebesar 15^0 ($\sin 15^0 = 0{,}26$). Hitunglah tinggi maksimum dan jangkauan terjauh yang dapat dicapai peluru!

Penyelesaian

v_0 = 100 m/s

$\alpha = 15^0 \rightarrow \sin 15^0 = 0{,}26$

g = 10 m/s

Tinggi maksimum yang dicapai peluru sebesar:

$$y_m = \frac{v_0^{\,2} \sin^2\alpha}{2g}$$

$$= \frac{(100)^2 (0{,}26)^2}{2.10} = 33{,}8 \text{ m}$$

Jangkauan terjauhnya memenuhi:

$$R = \frac{v_0^{\,2} \sin 2\alpha}{g}$$

$$= \frac{(100)^2 . \sin(2.15^0)}{10} = \frac{10^4 . \frac{1}{2}}{10} = 500 \text{ m}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dhania melempar batu dengan kecepatan 20 m/s dan sudut elevasi 30^0. Percepatan gravitasinya g = 10 m/s^2. Tentukan:

a. waktu saat mencapai di tanah kembali,
b. tinggi maksimumnya,
c. jangkauan terjauh!

ATIHAN 1.3

1. Benda yang dilemparkan dengan kecepatan 20 m/s memiliki sudut elevasi 30^{O}. Tentukan kecepatan dan posisi benda pada t = 1s!
2. Faza melemparkan batu pada arah 60^{O} terhadap horisontal. Kecepatannya 30 m/s. Tentukan:
   a. kecepatan batu di titik tertinggi,
   b. waktu yang dibutuhkan hingga mencapai titik tertinggi!
3. Peluru ditembakkan dari sebuah senapan yang mampu memberikan kecepatan awal $50\sqrt{2}$ m/s. Peluru diarahkan dengan sudut 45^{O} terhadap horisontal. Percepatan gravitasi g = 10 m/s^2. Berapakah:
   a. waktu yang dibutuhkan peluru di udara,
   b. ketinggian maksimumnya,
   c. jangkauan terjauhnya?
4. Sebuah peluru yang memiliki kecepatan awal v_0 dan sudut elevasi α. Jangkauan terjauhnya adalah 40 m. Jika tinggi maksimum yang dicapai 30 m maka tentukan nilai α!
5. Sebutir peluru ditembakkan dari sebuah senapan yang dapat memberikan kecepatan awal 40 m/s dari puncak menara setinggi 140 m dengan arah membentuk sudut 30^{o} terhadap garis mendatar. Tentukan jarak terjauh peluru tersebut saat tiba di tanah dihitung dari dasar menara!

Rangkuman Bab 1

1. Pada gerak translasi, posisi partikel tiap saat dapat dinyatakan sebagai vektor.

   $r = x\mathrm{i} + y\mathrm{j}$

   Dan perpindahannya memenuhi:

   $\Delta r = r_2 - r_1$

2. Kecepatan benda yang bergerak.
   a. Nilai rata-ratanya : $\bar{v} = \dfrac{\Delta r}{\Delta t}$
   b. Nilai sesaatnya : $v = \dfrac{dr}{dt}$
   c. Kebalikannya : $r = r_0 + \int v\, dt$
3. Percepatan benda.
   a. Nilai rata-rata : $\bar{a} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$
   b. Nilai sesaat : $a = \dfrac{dv}{dt}$
   c. Kebalikannya : $v = v_0 + \int a\, dt$
4. Pada benda yang bergerak melingkar akan berlaku:
   a. Kecepatan sudut sesaatnya:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \rightarrow \theta = \theta_0 + \int \omega\, dt$$

b. Percepatan sudut sesaatnya:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \rightarrow \omega = \omega_0 + \int a\,dt$$

c. Hubungan besaran-besaran:

$S = \theta R$

$v = \omega R$

$a_\theta = \alpha R$

d. Percepatan linier benda yang bergerak melingkar ada dua kemungkinan.

$a_\theta = \alpha R$

$$a_R = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$$

$$a_{tot} = \sqrt{a_R^{\ 2} + a_\theta^{\ 2}}$$

5. Gerak parabola adalah perpaduan dua gerak:

a. Pada arah horisontal : GLB

$v_x = v_0 \cos \alpha$

$x = v_x\, t$

b. Pada arah vertikal : GLBB

$v_y = v_0 \sin \alpha - g\, t$

$y = v_0 \sin \alpha\, t - \frac{1}{2}\, g\, t^2$

6. Pada titik tertinggi gerak parabola berlaku:

$v_y = 0$

$$t_m = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$y_m = \frac{v_0^{\ 2} \sin^2 \alpha}{2g}$$

7. Pada titik terjauh gerak partikel adalah:

$y = 0$

$$t = 2\, t_m = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$R = \frac{v_0^{\ 2} \sin 2\alpha}{g}$$

Evaluasi Bab

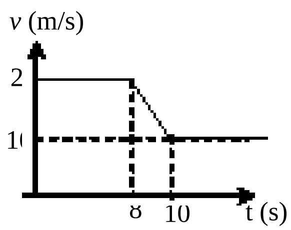
Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Posisi gerak partikel berubah tiap saat sesuai persamaan : $\vec{r}$ = (10 -1,5 t^2) $\vec{i}$ + (t + 1,5 t^2) $\vec{j}$. Semua satuan dalam SI. Kecepatan rata-rata partikel pada 2 s pertama adalah ....
   A. 6 m/s
   B. 8 m/s
   C. 10 m/s
   D. 14 m/s
   E. 16 m/s

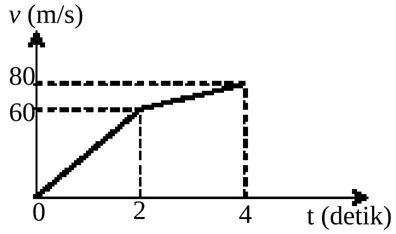
2. Gerak titik materi dalam suatu bidang datar dinyatakan oleh persamaan : $\vec{r}$ = (t^2 + 3t – 1) $\vec{i}$ + (2t^2 + 3) $\vec{j}$. (*r* dalam meter dan t dalam sekon). Pada saat t = 3 sekon, gerak tersebut memiliki kelajuan sebesar ....
   A. 5 ms^{-1}
   B. 10 ms^{-1}
   C. 13 ms^{-1}
   D. 15 ms^{-1}
   E. 21 ms^{-1}

3. Sebuah benda bergerak dengan persamaan kecepatan *v* = (4t + 10) m/s dengan t dalam sekon. Bila pada saat t = 0 benda berada pada *x* = 25 m, tentukanlah posisi benda pada saat t = 5 sekon!
   A. 10 m
   B. 30 m
   C. 55 m
   D. 100 m
   E. 125 m

4. Sebuah benda bergerak mempunyai kecepatan yang berubah terhadap waktu seperti pada gambar. Jika pada saat t = 2 s posisi benda pada *x* = – 90 m, maka setelah 11 sekon benda berada pada *x* = ...
   A. 50 m
   B. 70 m
   C. 110 m
   D. 160 m
   E. 200 m



5. Berdasarkan grafik di bawah ini, maka jarak yang ditempuh benda untuk t = 4 detik adalah ....

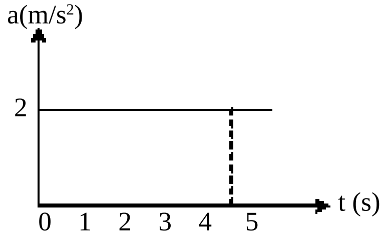


   A. 20 m
   B. 60 m
   C. 80 m
   D. 140 m
   E. 200 m

6. Sebuah benda bergerak dengan persamaan perpindahan : $\vec{S}$ = (6t^2 + 6t) $\vec{i}$ + (8t^2) $\vec{j}$. S dalam meter dan t dalam sekon. Nilai percepatan pada t = 2 s adalah ….
   A. 6 m/s^2
   B. 8 m/s^2
   C. 10 m/s^2
   D. 20 m/s^2
   E. 28 m/s^2

7. Sebuah partikel mula-mula bergerak lurus dengan kecepatan 100 m/s. Karena pengaruh gaya, partikel tersebut mengalami percepatan. Percepatannya berubah tiap saat sesuai persamaan: *a* = (4 – 10t)m/s^2. t adalah waktu lamanya gaya bekerja. Kecepatan partikel setelah gaya bekerja selama 4 sekon adalah ....
   A. 24 m/s
   B. 28 m/s
   C. 32 m/s
   D. 36 m/s
   E. 40 m/s

8. Sebuah benda bergerak dengan percepatan seperti pada grafik di bawah.



Jika mula – mula benda bergerak dengan kecepatan 10 m/s, maka setelah 4 detik benda memiliki kecepatan ....

A. 2 m/s
B. 8 m/s
C. 10 m/s
D. 14 m/s
E. 18 m/s

9. Sebuah partikel berotasi dengan persamaan posisi sudut $\theta = 4t^2 - 2t$ rad. Kecepatan sudut partikel tersebut saat t = 2 s adalah ....

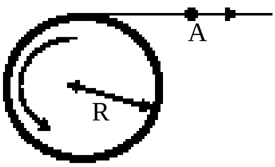
A. 6 rad/s
B. 8 rad/s
C. 10 rad/s
D. 12 rad/s
E. 14 rad/s

10. Benda yang bergerak melingkar dengan jari-jari tertentu posisi sudutnya berubah menurut persamaan : $\theta = t^3 - r^2 + 5$, θ dalam radian dan t dalam sekon. Percepatan sudut partikel tersebut saat t = 2 s adalah....

A. 2 rad/s
B. 4 rad/s
C. 8 rad/s
D. 10 rad/s
E. 15 rad/s

11. Tali melilit pada roda berjari – jari R = 25 cm, seperti gambar. Jika suatu titik pada tali itu (titik A) mempunyai kecepatan 5 m/s, maka kecepatan rotasi roda adalah ....

A. 0,2rad/s
B. 5 rad/s
C. 5π rad/s
D. 20 rad/s
E. 20π rad/s



12. Diantara pernyataan berikut:
(1) arahnya menyinggung lintasan sebagai akibat dari perubahan besar kecepatan,
(2) percepatan yang selalu menuju pusat lintasan dan terjadi dari perubahan laju gerak melingkar,
(3) percepatan yang arahnya tegak lurus pada jari – jari lintasan,
(4) percepatan yang mengakibatkan gerak rotasi dengan kecepatan tetap.

Pernyataan di atas yang sesuai dengan spesifikasi percepatan tangensial pada gerak rotasi adalah ....

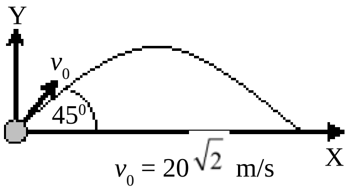
A. 1 dan 2
B. 2 dan 4
C. 1 dan 3
D. 1, 2 dan 3
E. 4 saja

13. Sebuah titik P pada benda tegar yang sedang berotasi terletak 1 meter dari sumbu putar benda. Pada saat kecepatan sudutnya $2\sqrt{2}$ rad s^{-1} dan percepatan sudutnya 6 rad s^{-2}, percepatan total titik P adalah ….

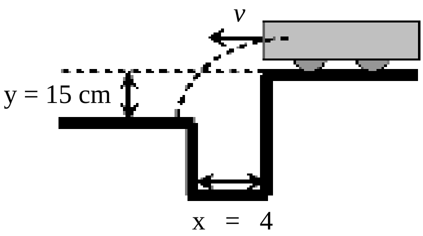
A. 6m/s²
B. 10 m/s²
C. 14 m/s²
D. 12 m/s²
E. 100 m/s²

14. Sebuah benda di lempar miring ke atas sehingga lintasannya parabola seperti pada gambar di samping. g = 10 m/s². Pada saat jarak tempuh mendatarnya (x) = 20 m , maka ketinggiannya (y) ....

A. 5 m
B. 10 m
C. 15 m
D. 20 m
E. 25 m



15. Sebuah batu dilemparkan dengan sudut lempar tertentu. Batu mencapai titik tertinggi 80 m di atas tanah. Bila g = 10 m/s^2, waktu yang diperlukan batu selama di udara adalah....
    A. 4 s
    B. 5 s
    C. 6 s
    D. 8 s
    E. 12 s
16. Sebuah peluru yang ditembakkan dengan evaluasi tertentu mempunyai persamaan vektor posisi r = 20t *i* +(20t – 5 t^2) ***j***, dengan t dalam sekon dan r dalam meter. Tinggi maksimum yang dapat dicapai oleh peluru adalah ….
    A. 60 m
    B. 80 m
    C. 80 m
    D. 120 m
    E. 60 m
17. Sebuah batu dilemparkan dengan sudut elevasi 37^O (sin 37^O = 0,6), mencapai tinggi maksimum dalam selang waktu 3 sekon. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, jarak mendatar yang dicapai batu dalam selang waktu tersebut sama dengan ....
    A. 45 m
    B. 54 m
    C. 60 m
    D. 120 m
    E. 180 m
18. Sebuah mobil hendak menyeberangi sebuah parit yang lebarnya 4,0 meter. Perbedaan tinggi antara kedua sisi parit itu adalah 15 cm, seperti yang ditunjukkan oleh gambar di atas ini. Jika percepatan gravitasi g = 10 m/s^2, maka besarnya kelajuan minimum yang diperlukan oleh mobil tersebut agar penyeberangan mobil itu tepat dapat berlangsung adalah ….

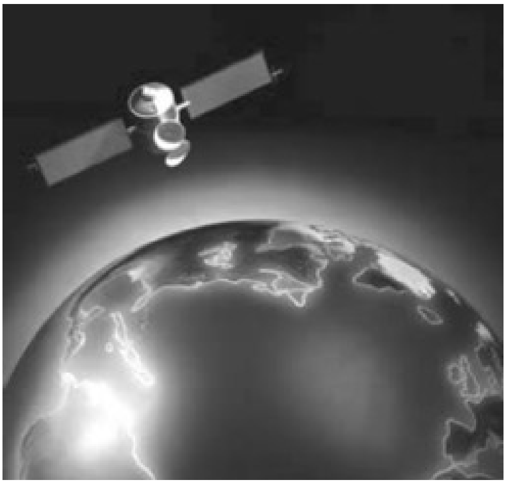


    A. 10 m/s
    B. 15 m/s
    C. 17 m/s
    D. 20 m/s
    E. 23 m/s
19. Sebuah peluru ditembakkan dengan sudut elevasi 15^O terhadap horizontal dan tiba ditanah dengan kecepatan 50 m/s. Jarak tembak peluru tersebut adalah... (g = 10 m/s^2)
    A. 50 m
    B. 75 m
    C. 100 m
    D. 125 m
    E. 150 m
20. Sebuah peluru ditembakkan dari senapan yang mampu memberikan kecepatan awal 40 m/s. Sudut elevasi sebesar 30^O. Ketinggian maksimum yang dicapai peluru tersebut adalah ....
    A. 15 m
    B. 20 m
    C. 25 m
    D. 30 m
    E. 100 m

BAB

2

GRAVITASI



Sumber: www.google.co.id

Pernahkah kalian berfikir, mengapa bulan tidak jatuh ke bumi atau meninggalkan bumi? Mengapa jika ada benda yang dilepaskan akan jatuh ke bawah dan mengapa satelit tidak jatuh? Lebih jauh kalian dapat berfikir tentang gerak pada Tata Surya kita, planet-planet dapat bergerak dengan teraturnya.

Senada dengan pemikiran-pemikiran di atas, Newton pada saat melihat buah apel jatuh juga berfikir yang sama. Mengapa apel bisa jatuh ? Kemudian Newton dapat menjelaskan bahwa bulan juga mendapatkan pengaruh yang sama seperti buah apel itu.

Hal-hal di atas itulah yang dapat kalian pelajari pada bab ini. Sehingga setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menentukan pengaruh gaya gravitasi pada benda,
2. menentukan percepatan gravitasi di suatu titik karena pengaruh suatu benda bermassa,
3. menentukan energi yang dimiliki benda yang dipengaruhi gravitasi,

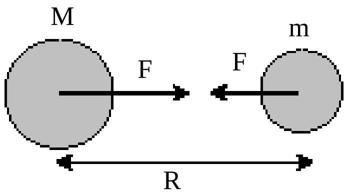
A. Medan Gravitasi

1. Hukum Newton tentang Gravitasi

Pernahkah kalian berfikir, mengapa mangga bisa jatuh dari pohonnya dan orang yang ada di atas bangunan bisa jatuh ke bawah? Ternyata fenomena ini sudah dijelaskan oleh Newton dalam hukumnya tentang gravitasi. Menurut Newton jika ada dua benda bermassa didekatkan maka antara kedunya itu akan timbul *gaya gravitasi* atau gaya tarik menarik antar massa. Besar gaya gravitasi ini sesuai dengan hukum Newton yang bunyinya sebagai berikut.

"Semua benda di alam akan menarik benda lain dengan gaya yang besarnya sebanding dengan hasil kali massa partikel tersebut dan sebanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

Secara matematis hukum Newton tentang gravitasi tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 2.1
Gaya gravitasi bekerja pada garis hubung kedua benda.

$$F \sim \frac{Mm}{R}$$

atau $$F = G\frac{Mm}{R^2}$$ ....(2.1)

dengan : F = gaya gravitasi (W)
M,m = massa kedua benda (kg)
R = jarak antara benda
G = konstanta gravitasi.($6{,}67.10^{-4}$ Nm^2kg^{-2})

CONTOH 2.1

Seorang astronot di bumi memiliki berat 800 N. Kemudian astronot itu naik pesawat meninggalkan bumi hingga mengorbit pada ketinggian R (R = jari-jari bumi = 6.380 km). G = $6{,}67.10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}. Berapakah berat astronot tersebut pada orbit tersebut?

Penyelesaian

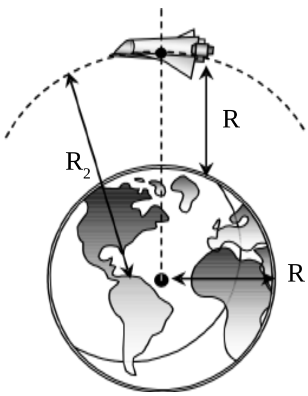
R_1 = R = 6.380 km = $6{,}38.10^6$m

F_1 = 800 N

R_2 = R + R = 2 x $6{,}38.10^6$ = $1{,}276x10^7$ m

F_2 = ?

Berat astronot merupakan gaya gravitasi bumi. Sehingga sebanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua



Gambar 2.2

$$F \sim \frac{1}{R^2}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

$$\frac{F_2}{800} = \left(\frac{6,38.10^6}{2 \times 6,38.10^6}\right)^2$$

$$F_2 = \frac{1}{4} . 800 = 200 \text{ N}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda dipermukaan bumi memiliki berat 180 N. Berapakah berat benda tersebut jika berada pada pesawat sedang mengorbit bumi pada ketinggian 2R (R = jari-jari bumi).

2. Percepatan Gravitasi

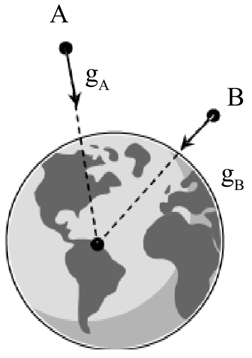
Kalian pasti pernah mendengar tentang percepatan gravitasi. Misalnya saat belajar tentang gerak jatuh bebas atau hukum Newton, diketahui percepatan gravitasi di permukaan bumi sebesar 10 m/s^2. Apa sebenarnya percepatan gravitasi itu? *Percepatan gravitasi* disebut juga *kuat medan gravitasi* yaitu menyatakan besarnya gaya gravitasi yang dirasakan benda persatuan massa. Dari pengertian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$g = \frac{F}{m}$$

Jika nilai F pada persamaan di atas disubtitusikan besarnya F dari persamaan 2.1 maka dapat diperoleh persamaan percepatan gravitasi sebagai b erikut.

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad \text{.......................................(2.2)}$$

dengan : g = percepatan gravitasi (m/ s^2)
M = massa benda (kg)
R = jarak titik ke benda (m)



Gambar 2.3

Besaran vektor

Gaya gravitasi dan percepatan gravitasi merupakan besaran vektor. Gaya gravitasi arahnya saling tarik menarik sehingga disebut juga gaya tarik. Sedangkan percepatan gravitasi arahnya menuju pusat massa. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 2.2

1. Dua buah benda A dan B berjarak 30 cm. Massa A sebesar 24 kg dan massa B sebesar 54 kg berjarak 30 cm. Dimanakah tempat suatu titik yang memiliki kuat medan gravitasi sama dengan nol?

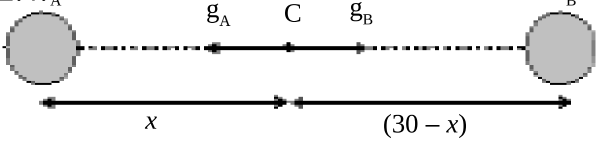
Penyelesaian

m_A = 24 kg

m_B = 54 kg

R = 30 cm

Dengan melihat arah kuat medan gravitasi maka kemungkinan titiknya adalah diantara kedua massa dan dapat digambarkan seperti pada *Gambar 2.4*.



Gambar 2.4
Titik yang kuat medan gravitasinya nol

Di titik C kuat medan gravitasi nol jika g_A sama dengan g_B.

$$g_B = g_A$$

$$G\frac{m_B}{(30-x)^2} = G\frac{m_A}{x^2}$$

$$\frac{54}{(30-x)^2} = \frac{24}{x^2}$$

Kedua ruas di bagi 6 kemudian diakar dapat diperoleh:

$$\frac{3}{(30-x)} = \frac{2}{x}$$

$$3x = 60 – 2x$$

$$5x = 60 \text{ berarti } x = 12 \text{ cm}$$

Berarti titik C berjarak 12 cm dari A atau 18 cm dari B.

2. Tiga buah massa berada dititik-titik sudut segitiga seperti pada *Gambar 2.5(a)*. m_A = 20 kg, m_B = 27 kg dan m_C = 64 kg. G = $6{,}67.10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}. Berapakah:
   a. gaya yang dirasakan massa A,
   b. percepatan gravitasi dititik A?

Penyelesaian

m_A = 20 kg

m_B = 27 kg
m_C = 64 kg
R_B = 3 cm = 3.10^{-2} m
R_C = 4 cm = 4.10^{-2} m

a. Gaya yang bekerja massa A dapat digambarkan seperti pada *Gambar 2.5.(b)*.

$$F_B = G\frac{m_A m_B}{{R_B}^2}$$

$$= G\frac{20.27}{(3.10^{-2})^2} = 6\ G.10^5$$

$$F_C = G\frac{m_A m_C}{{R_c}^2}$$

$$= G\frac{20.64}{(4.10^{-2})^2} = 8G.10^5$$

F_B tegak lurus F_C sehingga gaya yang bekerja pada massa A merupakan resultan dari keduanya dan berlaku *dalil Pythagoras*.

$$F_{tot} = \sqrt{{F_B}^2 + {F_C}^2}$$

$$= \sqrt{(6G.10^5)^2 + (8G.10^5)^2}$$

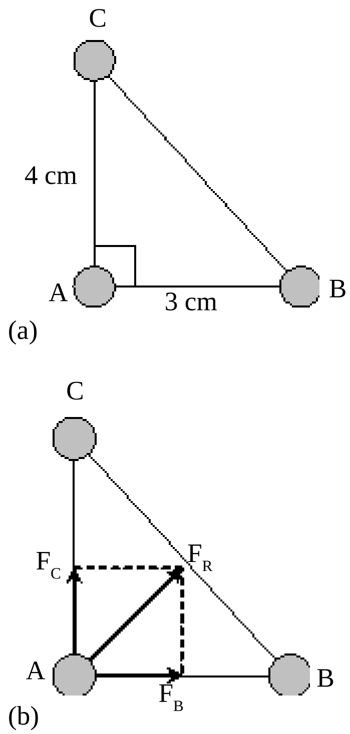
$$= \sqrt{100G^2.10^{10}} = G.10^6$$

$$= 6{,}67.10^{-11}.\ 10^6 = 6{,}67.10^{-5}\ \text{N}$$

b. Percepatan gravitasi yang dirasakan massa m_A memenuhi:

$$g = \frac{F_{tot}}{m_A}$$

$$= \frac{6{,}67.10^{-5}}{20} = 3{,}34.10^{-6}\ \text{N/kg}$$



Gambar 2.5

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Massa m_A = 5 kg dan m_B = 45 kg berjarak 60 cm satu dengan yang lain. Tentukan:

a. gaya yang dirasakan massa m_C = 3 kg yang berada di tengah-tengah AB,

b. titik yang kuat medannya nol!

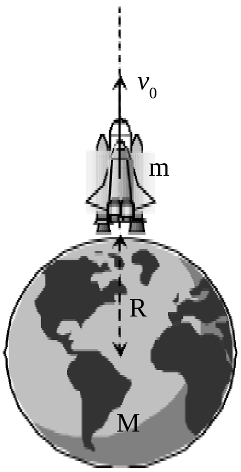
3. Energi Potensial Gravitasi

Setiap benda yang berada dalam medan gravitasi akan memiliki energi potensial. Energi potensialnya didefinisikan seperti pada persamaan berikut.

$$E_p = -G\frac{Mm}{R} \quad \text{.................................2.3)}$$

Medan gravitasi termasuk medan gaya konservatif yaitu gayanya menghasilkan usaha yang tidak mengubah energi mekanik benda, sehingga pada suatu benda yang bergerak dalam medan gravitasi akan memenuhi kekekalan energi mekanik.

$$E_m = E_p + E_k = \text{tetap} \quad \text{...............................(2.4)}$$



Gambar 2.6
Peluncuran roket ke angkasa

CONTOH 2.3

Sebuah pesawat antariksa bermassa 1 ton akan diluncurkan dari permukaan bumi. Jari-jari bumi R = $6{,}38.10^6$ m dan massa bumi $5{,}98.10^{24}$kg. Tentukan:

a. energi potensial pesawat saat di permukaan bumi,
b. kecepatan awal pesawat agar tidak kembali lagi ke bumi!

Penyelesaian

m = 1 ton = 10^3kg
R = $6{,}38.10^6$m
M = $5{,}98.10^{24}$ kg

a. Energi potensial pesawat sebesar:

$$Ep = -G\frac{Mm}{R}$$
$$= -6{,}67.10^{-11}.\frac{(5{,}98.10^{24}).10^3}{6{,}38.10^6}$$
$$= -6{,}38.10^{10}\ \text{joule}$$

b. Pada gerak pesawat berlaku hukum kekekalan energi mekanik. Karena tidak kembali berarti energi akhirnya nol.

$$E_{p1} + E_{k1} = E_m\ (\sim)$$
$$-G\frac{Mm}{R} + \frac{1}{2}mv_0^2 = 0$$
$$v_0^2 = \frac{GM}{R}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{6,67.10^{-11}.\left(5,98.10^{24}\right)}{6,38.10^{6}}}$$

$$= 8.10^3 \text{ m/s}$$

Kecepatan v_0 ini dinamakan dengan kecepatan lepas.

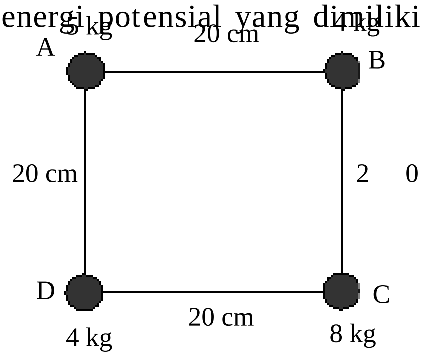
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Dua benda m_A = 20 kg dan m_B = 50 kg berjarak 20 cm satu dengan yang lain. Berapakah energi potensial gravitasi yang disimpan kedua massa tersebut?
2. Diketahui pesawat bermassa m, jari-jari bumi R dan percepatan gravitasi di permukaan bumi *g*. Tentukan kecepatan lepas pesawat dalam g, dan R!

ATIHAN 2.1

1. Andi bermassa 50 kg dan Budi bermassa 80 kg duduk-duduk di kursi taman dengan jarak 0,5 m.

   G = $6,67.10^{-11}$ $Nm^2\,kg^{-2}$.
   a. Berapakah gaya gravitasi yang dirasakan Andi karena pengaruh Budi ?
   b. Berapakah perbandingan gaya gravitasi Andi karena pengaruh Budi dengan berat Andi ?
2. Coba jelaskan apakah saat kalian duduk dekat dengan teman kalian akan bekerja gaya gravitasi? Jika ada mengapa kita tidak merasakan?
3. Benda A bermassa 2 kg dan benda B bermassa 18 kg. Keduanya berjarak 40 cm. Dimanakah benda C bermassa 5 kg harus diletakkan agar tidak merasakan gaya gravitasi dari kedua massa tersebut?
4. Percepatan gravitasi dipermukaan bumi sebesar g = 10 m/s. Berapakah percepatan gravitasi yang dirasakan pesawat angkasa yang mengorbit pada ketinggian R (R = jari-jari bumi)?
6. Bumi dan bulan berjarak 384.000 km. Massa bumi diperkirakan 81 kali massa bulan. Tentukan letak suatu titik diantara bumi dan bulan sedemikian sehingga titik tersebut memiliki kuat medan gravitasinya nol!
7. Apakah percepatan gravitasi di semua titik di permukaan bumi sama besar? Misalnya di kutub dan di katulistiwa. Jelaskan!
8. Empat benda ditempatkan pada titik-titik sudut bujur sangkar seperti pada gambar. Tentukan:
   a. gaya gravitasi yang dirasakan benda dititik A,
   b. percepatan gravitasi di titik A,
   c. energi potensial yang dimiliki



B. Gerak Planet dan Satelit

1. Hukum Kepler

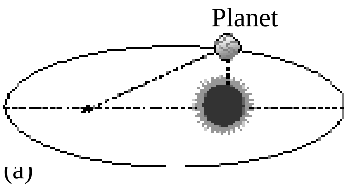
Jarak sebelum Newton menjelaskan tentang hukum gravitasi, gerak-gerak planet pada tata surya kita telah dijelaskan oleh *Kepler*. Penjelasan Kepler ini kemudian dikenal sebagai *hukum Kepler*. Hukum ini ada tiga seperti yang dijelaskan berikut.

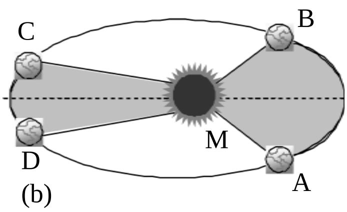
a. Hukum I Kepler

Pada hukum persamaannya, Kepler menjelaskan tentang bentuk lingkaran orbit planet. Bunyi hukum ini sebagai berikut.

"Lintasan setiap planet mengelilingi matahari merupakan sebuah elips dengan matahari terletak pada salah satu titik fokusnya.

Gambaran orbit planet sesuai hukum I Kepler dapat dilihat seperti pada *Gambar 2.7 (a)*.





Gambar 2.7
Orbit planet pada tata surya

b. Hukum II Kepler

Hukum kedua Kepler menjelaskan tentang kecepatan orbit planet. Bagaimana kecepatan orbit planet tersebut? Perhatikan penjelasan berikut.

"Setiap planet bergerak sedemikian sehingga suatu garis khayal yang ditarik dari matahari ke planet tersebut mencakup daerah dengan luas yang sama dalam waktu yang sama."

Coba kalian perhatikan *Gambar 2.7 (b)*. Garis AM akan menyapau lurus hingga garis BM, luasnya sama dengan daerah yang disapu garis Cm hingga DM. Jika $t_{AB} = t_{CD}$. Hukum kedua ini juga menjelaskan bahwa dititik A dan B planet harus lebih cepat dibanding saat dititik C dan D.

c. Hukum III Kepler

Pada hukum ketiganya Kepler menjelaskan tentang periode revolusi planet. Periode revolusi planet ini dikaitkan dengan jari-jari orbit rata-ratanya. Perhatikan penjelasan berikut.

"Kuadrat periode planet mengitari matahari sebanding dengan pangkat tiga rata-rata planet dari matahari."

Hubungan di atas dapat dirumuskan secara matematis seperti persamaan berikut.

$$T^2 \sim R^3$$

atau $$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$ ....(

CONTOH 2.4

Planet jupiter memiliki jarak orbit ke matahari yang diperkirakan sama dengan empat kali jarak orbit bumi ke matahari. Periode revolusi bumi mengelilingi matahari 1 tahun. Berapakah periode jupiter tersebut mengelilingi matahari?

Penyelesaian

$R_B = R \longrightarrow T_B = 1$ th

$R_J = 4$ R $\longrightarrow T_J = ?$

Berdasarkan hukum III Kepler maka periode planet dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\left(\frac{T_P}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{R_P}{R_B}\right)^3$$

$$\frac{T_J}{1} = \sqrt{\left(\frac{4R}{R}\right)^3} = 2^3 = 8$$

$$T_J = 8 \times 1 = 8 \text{ tahun}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Periode planet mars mengelilingi matahari adalah 1,88 tahun. Jika diketahui periode bumi1 tahun dan jari-jari Mars dapat ditentukan. Berapakah jari-jari orbit Mars tersebut?

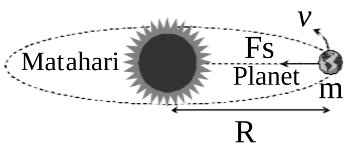
2. Gaya Gravitasi pada Gerak Planet

a. Bukti hukum Newton

Dengan munculnya hukum gravitasi newton, maka hukum III Kepler dapat dibuktikan kebenarannya. Atau dapat diartikan pula bahwa hukum III Kepler dapat memperkuat kebenaran hukum Newton tentang gravitasi. Mengapa planet dapat mengelilingi matahari dan tidak lepas dari orbitnya? Jawabannya adalah karena adanya gaya sentripetal. Gaya sentripetal itulah yang berasal dari gaya gravitasi sesuai hukum Newton tersebut. Perhatikan *Gambar 2.8*. Dari gambar tersebut dapat diperoleh:

$$F_G = F_S$$

$$G\,\frac{Mm}{R^2} = m\,\frac{v^2}{R}$$



Gambar 2.8
Gaya sentripetal berasal dari gaya gravitasi

Kecepatan gerak planet dapat memenuhi $v = \frac{2\pi R}{T}$ jika v di substitusikan ke persamaan gaya di atas maka dapat diperoleh hubungan sebagai berikut.

$$G\frac{M}{R^2} = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} \qquad \frac{R^2}{GM} = \frac{1}{g}$$

$$G\frac{M}{R^2} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} \qquad \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{g} \rightarrow \text{konstan}$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Karena nilai G dan M adalah konstan maka dari persamaan di atas berlaku:

$$T^2 \sim R^3$$

Hubungan terakhir ini sangat sesuai dengan hukum III Keppler. Perhatikan kembali persamaan 2.5.

b. Kecepatan orbit planet

Agar planet dapat mengorbit dengan lintasan yang tetap dan tidak lepas maka selama geraknya harus bekerja gaya sentripetal. Gaya sentripetal inilah yang berasal dari gaya gravitasi sehingga dapat ditentukan kecepatan orbitnya seperti berikut.

$$F_S = F_G \qquad g = \frac{GM}{R^2}$$

$$m\frac{v^2}{R} = G\frac{Mm}{R^2} \qquad GM = gR^2$$

$$v^2 = G\frac{M}{R}$$

Jadi kecepatan orbitnya memenuhi persamaan di bawah.

$$v = \sqrt{G\frac{M}{R}} \qquad v = \sqrt{\frac{gR^2}{R}} \quad \text{................................(2.6)}$$

$$v = \sqrt{gR} \qquad g \rightarrow \textit{percepatan gravitasi di muka bumi}$$

c. Gerak satelit

Satelit adalah benda langit yang mengorbit pada planet. Contohnya satelit bumi adalah bulan. Saat ini pasti kalian sudah mengetahui bahwa telah dibuat banyak sekali satelit buatan. Gerak-gerak satelit pada planet ini sangat mirip sekali dengan gerak planet mengitari matahari. Sehingga hukum-hukum yang berlaku pada planet juga berlaku pada satelit.

CONTOH 2.5

Matahari memiliki massa $M_B = 2.10^{30}$ kg dan jarak orbit bumi adalah $1,5.10^{11}$ m. $G = 6,67.10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}. Berapakah kecepatan bumi mengelilingi matahari?

Penyelesaian

M_B = 2.10^{30} kg

R = $1,5.10^{11}$ m

G = $6,67.10^{-11}nm^2\,kg^{-2}$

Kecepatan bumi mengelilingi matahari memenuhi persamaan 2.6.

$$v = \sqrt{G\frac{M}{R}}$$

$$= \sqrt{6,67.10^{-11}.\frac{2.10^{30}}{1,5.10^{11}}} = 2,98.10^4 \text{ m/s}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah satelit buatan diorbitkan pada bumi dengan ketinggian R di atas permukaan bumi. R = jari-jari bumi sebesar = 6.400 km dan massa bumi = 6.10^{24} kg. Berapakah kecepatan

LATIHAN 2.2

1. Coba jelaskan mengapa gerak bumi itu saat dekat dengan matahari akan lebih cepat dengan saat jauh dari matahari!
2. Sebuah planet yang memiliki periode revolusi 27 tahun akan memiliki jarak rata-rata dari matahari sebesar r. Tentukan nilai r tersebut jika jarak bumi ke matahari diketahui $1,5.10^{11}$ m!
3. Sebuah planet A memiliki periode 9 tahun. Jika diketahui jarak planet A dengan planet B terhadap matahari 4 : 9 maka tentukan periode planet B tersebut!

g = $6,67.10^{-11}Nm^2\,kg^{-2}$ maka tentukan kecepatan orbit planet tersebut!

5. Satelit-satelit buatan agar dapat berada di tempatnya maka harus diorbitkan diatas khatulistiwa dan dengan periode revolusi yang sama dengan periode rotasi bumi (1 tahun). Satelit seperti ini dinamakan *satelit Geosinkron*. Tentukan:
   a. jari-jari orbit satelit,
   b. kecepatan orbit satelit!
6. Bagaimanakah menguji kebenaran hukum Kepler? Coba jelaskan caranya!
7. Mengapa satelit buatan dapat

Rangkuman Bab 2

1. Dari benda yang bermassa yang berjarak R akan mendapat gaya tarik atau gaya gravitasi:

   besar : $F = G \frac{Mm}{R^2}$

   azas : saling tarik menarik

2. Kuat medan gravitasi dinamakan juga percepatan gravitasi merupakan gaya gravitasi tiap satu-satuan massa.

   $g = \frac{F}{m}$ atau $g = G \frac{M}{R^2}$

3. Energi potensial gravitasi antara dua benda merupakan besaran sekalar. Besarnya memenuhi:

   $Ep = -G \frac{Mm}{R}$

   Pada medan gravitasi berlaku hukum kekekalan energi:

   Em = Ep + Ek = tetap.

4. Hukum Kepler ada tiga:
   a. pertama menjelaskan bentuk orbit yaitu ellips,
   b. kedua tentang kecepatan orbit,
   c. ketiga tentang hubungan jari-jari dan periode orbit.

   $T^2 \sim R^3$

   $$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

5. Gerak planet atau satelit pada jarak R harus memiliki kecepatan orbit sebesar:

   $v = \sqrt{G\frac{M}{R}}$

Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian!

1. Besar gaya gravitasi antara dua buah benda yang saling berinteraksi adalah ....
   A. berbanding terbalik dengan massa salah satu benda
   B. berbanding terbalik dengan massa masing-masing benda
   C. berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua benda
   D. sebanding dengan jarak kedua benda
   E. sebanding dengan kuadrat jarak kedua benda

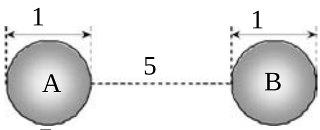
2. Dua buku besar di atas meja dan memiliki jarak pusat massa 1,5 m. Jika massa buku tersebut masing-masing 0,5 kg dan 0,45 kg, maka besar gaya gravitasi yang dirasakan oleh buku yang satu karena pengaruh gravitasi buku yang lain sebesar .... ($G = 6{,}67 \cdot 10^{-4}$ Nm^2/kg^2).
   A. $6{,}67 \cdot 10^{-13}$ N
   B. $1{,}0 \cdot 10^{-13}$ N
   C. $1{,}0 \cdot 10^{-12}$ N
   D. $6{,}67 \cdot 10^{-9}$ N
   E. $1{,}0 \cdot 10^{-8}$ N

3. Seorang astronot beratnya di permukaan bumi 800 N. Jika astronot tersebut sedang mengorbit mengelilingi bumi dengan laju konstan dan jari-jari orbit pesawat 4 kali jari-jari bumi, maka berat astronot menjadi ....
   A. Nol
   B. 50 N
   C. 200 N
   D. 400 N
   E. 800 N

4. Benda A (m_A = 9 kg) berada pada jarak 4 dari benda B (m_B = 4kg). Benda C (m_C = 5 kg) diletakkan pada garis hubung A dan B. Agar gaya gravitasi yang bekerja pada benda C
   A. 0,42 m dari A dan 3,58 m dari B
   B. 1,6 m dari A dan 2,4 m dari B
   C. 2 m dari A dan 2 m dari B
   D. 2,4 m dari A dan 1,6 m dari B
   E. 2,77 m dari A dan 1,23 m dari B

5. Percepatan gravitasi rata-rata dipermukaan bumi sama dengan a. Untuk tempat di ketinggian R (R = jari-jari bumi) dari permukaan bumi, memiliki percepatan gravitasi sebesar ....
   A. 0,125a
   B. 0,250a
   C. 0,500a
   D. 1,000a
   E. 4,000a

6. Dua bola A dan B, massanya sama, garis tengahnya sama (lihat gambar). Jika kuat medan gravitasi disuatu titik sama dengan nol, maka jarak titik tersebut dari kulit bola A adalah ....



   A. 1,0 m
   B. 1,5 m
   C. 2,0 m
   D. 2 , 5 m
   E. 3,0 m

7. Andaikan bumi ini menyusut sehingga diameternya menjadi seperdua harga semula tetapi massanya tidak berubah maka massa benda-benda yang ada di permukaan bumi
   A. menjadi empat kali lebih besar
   B. menjadi dua kali lebih besar
   C. menjadi seperempatnya harga semula

8. Seorang astronot melayang dalam kapal angkasa yang sedang mengitari bumi, karena pada posisi itu
   (1) gaya gravitasi bumi pada astronot nol.
   (2) gaya gravitasi bumi dan bulan pada astronot di orbit itu saling meniadakan.
   (3) gaya gravitasi bumi dan gaya Archimedes saling meniadakan.
   (4) gaya gravitasi bumi pada astronot dan kapal angkasa bertindak sebagai gaya sentripetal.

   Yang benar adalah ....
   A. 1, 2, 3 dan 4
   B. 1, 2 dan 3
   C. 1 dan 3
   D. 2 dan 4
   E. 4 saja

9. Percepatan gravitasi dipermukaan bumi sebesar 10 m/s^2. Percepatan gravitasi yang dirasakan oleh sebuah benda yang dijatuhkan dari pesawat yang mengorbit pada ketinggian 2R (R = jari-jari bumi) adalah ....
   A. 10 m/s^2
   B. 5 m/s^2
   C. 3,33 m/s^2
   D. 2,5 m/s^2
   E. 1,11 m/s^2

10. Dua buah benda masing – masing massanya m_1 dan m_2, jatuh bebas dari ketinggian yang sama pada tempat yang sama. Jika $m_1 = 2m_2$, maka percepatan benda pertama adalah ….
    A. 2 x percepatan benda kedua
    B. ½ x percepatan benda kedua
    C. sama dengan percepatan benda kedua
    D. ¼ x percepatan benda kedua
    E. 4 x percepatan benda kedua

11. Bila diketahui bahwa jari – jari bumi 6,4. 10^6 m, maka kelajuan lepas suatu roket yang diluncurkan vertikal dari permukaan bumi adalah ....
    A. $4\sqrt{2}$ km/s
    B. 6 km/s
    C. 8 km/s
    D. 10 km/s
    E. 12 km/s

12. Sebuah satelit bumi mengorbit setinggi 3600 km di atas permukaan bumi. Jika jari-jari bumi 6400 km dan gerak satelit dianggap melingkar beraturan, maka kelajuannya (dalam km/s) adalah ....
    A. 6,4
    B. 64
    C. 640
    D. 6400
    E. 64000

13. Planet A dan B masing-masing berjarak rata-rata sebesar p dan q terhadap matahari. Planet A mengitari matahari dengan periode T. Jika p = 4q maka B mengitari matahari dengan periode ….
    A. 1/12 T
    B. 1/10 T
    C. 1/8 T
    D. 1/6 T
    E. ¼ T

14. Dua buah planet P dan Q mengorbit matahari. Apabila perbandingan antara jarak planet P dan planet Q ke matahari adalah 4 : 9 dan periode planet P mengelilingi matahari 24 hari, maka periode planet Q mengelilingi matahari adalah ….
    A. 51 hari
    B. 61 hari
    C. 71 hari
    D. 81 hari
    E. 91 hari

15. Bulan yang merupakan satelit bumi berevolusi mengitari bumi dengan jari-jari orbit *R* dan periode *P*. Apabila konstanta gravitasi umum dinyatakan dengan *G*, maka rumusan yang tepat untuk memperkirakan massa bumi *M* adalah ….
    A. $M = 4\pi \frac{R}{GP}$
    B. $M = 4\pi \frac{R^2}{GP^2}$
    C. $M = 4\pi^2 \frac{R^2}{GP^2}$
    D. $M = 4\pi^2 \frac{R^3}{GP^2}$

BAB

3

ELASTISITAS



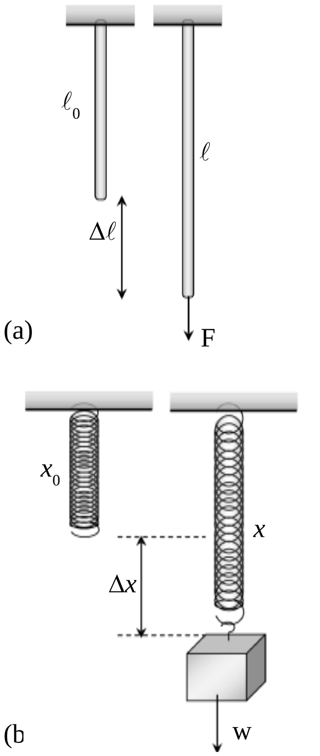
Sumber: www.altime.ru

Kalian mungkin sudah sering melihat benda-benda yang bersifat elastis. Contohnya seperti suspensi sepeda motor, springbed dan pegas. Apa sebenarnya sifat elastis itu. Mengapa bisa elastis? Apa pengaruh yang dapat ditimbulkan?

Pertanyaan-pertanyaan di atas itulah yang dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. memahami sifat-sifat elastis bahan,
2. menerapkan hukum Hooke pada elastisitas bahan seperti pegas,
3. menentukan sifat-sifat getaran pegas,
4. menentukan periode dan frekuensi getaran pegas,
5. menentukan energi getaran pegas.

A. Elastisitas



Gambar 3.1
Bahan yang elastis akan bertambah panjang saat diberi gaya.

1. Sifat-sifat Elastis Bahan

Apa yang terjadi jika sebuah kawat atau batang logam ditarik oleh gaya? Jawabannya dapat kalian lihat pada *Gambar 3.1(a)*. Batang yang panjang mula-mula ℓ_0 menjadi ℓ saat ditarik gaya F, berarti terjadi pertambahan panjang $\Delta\ell$. Sifat seperti ini dinamakan elastis. Jika pemberian gaya tidak melebihi sifat elastisnya maka penambahan panjang itu akan kembali lagi seperti pada *Gambar 3.1(b)*.

Ada tiga besaran yang perlu diperhatikan pada sifat ini yaitu seperti penjelasan berikut.

a. *Regangan atau strain*

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula.

$$e = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \qquad \text{.................................. (3.1)}$$

b. *Tegangan atau stress*

Tegangan atau stress adalah besarnya gaya yang bekerja tiap satu satuan luas penampang.

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad \text{.................................. (3.2)}$$

c. *Modulus elastisitas*

Modulus elastisitas adalah besaran yang menggambarkan tingkat elastisitas bahan. Modulus elastisitas disebut juga modulus Young yang didefinisikan sebagai perbandingan stress dengan strain.

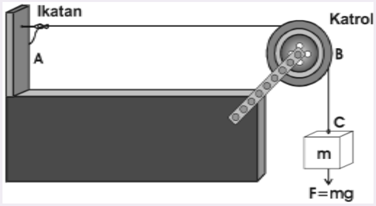
$$E = \frac{\sigma}{e} \qquad \text{.................................. (3.3)}$$

Kegiatan 3.1

Elastisitas

Tujuan : Mempelajari sifat elastis bahan.
Alat dan bahan : Kawat besi, kawat aluminium dan tali plastik, benang, beban, penggaris, mikrometer dan neraca.
Kegiatan :

1. Potonglah kawat atau tali dengan panjang yang sama misalnya 1 m kemudian ukurlah diameter penampang kawat dengan mikrometer.
2. Susunlah alat seperti gambar sehingga tali dapat tertarik dan mengalami pemanjangan. Gunakan tali pertama dari kawat besi.



3. Ukurlah panjang tali sebelum beban dilepas.

   l_0 = AB + BC dan ukur pula panjang tali setelah beban m dilepas l

   (l juga diukur sama dengan AB + BC, hanya saja setelah beban lepas). Kemudian ukur pertambahan panjangnya Δl.
4. Hitunglah massa beban dan hitung gaya tegangan tali F = mg.
5. Ulangi langkah (2) s.d. (4) dengan mengubah kawat, berturut-turut, kawat aluminium, tali plastik (karet) dan benang.

Tugas

(1) Catat semua data pada tabel.

(2) Hitunglah modulus elastisitas E.

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{F\ell}{A\Delta\ell}$$

(3) Tentukan bahan yang paling elastis. Jelaskan mengapa kalian menemukan jawaban itu?

CONTOH 3.1

Kawat logam panjangnya 80 cm dan luas penampang 4 cm^2. Ujung yang satu diikat pada atap dan ujung yang lain ditarik dengan gaya 50 N. Ternyata panjangnya menjadi 82 cm. Tentukan:

a. regangan kawat,

b. tegangan pada kawat,

c. modulus elastisitas kawat!

Penyelesaian

ℓ_0 = 80 cm

ℓ = 82 cm □□ ℓ = 82 □ 80 = 2 cm

A = 4 cm^2 = 4.10^{-4} m^2

F = 50 N

a. Regangan:

$$e = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} = \frac{2}{80} = 2{,}5.10^{-2}$$

b. Tegangan sebesar:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{50}{4.10^{-4}} = 1{,}25.10^{5}\ N/m^2$$

c. Modulus elastisitas sebesar:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

$$= \frac{1{,}25.10^{5}}{2{,}5.10^{-2}} = 5.10^{6}\ N/m^2$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Batang logam memiliki modulus elastisitas 2.10^6 N/m^2, luas penampang 2 cm^2 dan panjang 1 m. Jika diberi gaya 100 N maka tentukan:

a. tegangan batang,
b. regangan batang,
c. pertambahan panjang!

Penting

Nilai regangan (e) memenuhi persamaan 3.1 semakin besar nilai e suatu bahan maka bahan itu semakin mudah meregang. Contoh pegas lebih mudah meregang dari pada kawat besi. Setiap bahan yang mudah meregang dapat dimanfaatkan untuk bahan pelentur.

2. Hukum Hooke

Pada *Gambar 3.1* kalian telah belajar tentang elastisitas bahan termasuk pada pegas. Sifat elastisitas pegas ini juga dipelajari oleh **Robert Hooke** (1635-1703). Pada eksperimennya, **Hooke** menemukan adanya hubungan antara gaya dengan pertambahan panjang pegas yang dikenai gaya. Besarnya gaya sebanding dengan pertambahan panjang pegas. Konstanta perbandingannya dinamakan *konstanta pegas* dan disimbulkan *k*. Dari hubungan ini dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut.

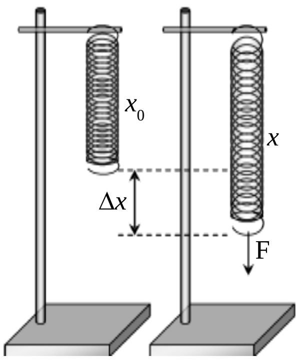
$$F \sim \Delta x$$

atau $F = k\,\Delta x$ .... (3.4)

dengan : F = gaya (N)

Δx = pertambahan panjang pegas (m)

k = konstanta pegas (N/m)



Gambar 3.2
Pegas yang ditarik gaya F

Persamaan 3.4 itulah yang kemudian dikenal sebagai *hukum Hooke*. Bagaimanakah penggunaan hukum Hooke tersebut ? Untuk lebih memahami hukum Hooke tersebut dapat kalian cermati contoh di bawah dan susunan pegas pada halaman berikut-

Kegiatan 3.2

Hukum Hooke

Tujuan : Mempelajari pengaruh gaya terhadap perpanjangan pegas.

Alat dan bahan : Pegas, penggaris, beban, statif.

Kegiatan :

1. Gantungkan salah satu ujung pegas pada statif seperti pada *Gambar 3.2*. Kemudian ukur panjang pegas mula-mula (x_0).
2. Gantungkan beban (m = 150 gr) pada ujung bawah pegas hingga pegas memanjang. Beban akan memberikan gaya pada pegas sebesar F = mg. Untuk g = 9,8 m/s^2.
3. Ukurlah panjang pegas setelah diberi beban (x). Kemudian hitung pertambahan panjang pegas itu,

   □x = x - x_0
4. Ulangi kegiatan (2) dan (3) dengan mengubah beban m. Misalnya menjadi 200 gr, 250 gr, 300 gr dan seterusnya.

Tugas

1. Catat semua data pada tabel.
2. Buatlah gra□k hubungan F dengan□x.
3. Buatlah simpulan dari kegiatan ini.

CONTOH 3.2

Sebuah pegas memiliki panjang 20 cm. Saat ditarik dengan gaya 12,5 N panjang pegasnya menjadi 22 cm. Berapakah panjang pegas jika ditarik gaya sebesar 37,5 N?

Penyelesaian

x_0 = 20 cm

F_1 = 12,5 N → x_1 = 22 cm

Δx_1 = 22 – 20 = 2 cm

F_2 = 37,5 N → Δx_2 = ?

x_2 = ?

Dari keadaan pertama dapat dihitung konstanta pegas sebagai berikut.

$$F_1 = k\,\Delta x_1$$

$$12{,}5 = k\,.\,2.10^{-2}$$

$$k = \frac{12{,}5}{2.10^{-2}} = 625 \text{ N/m}$$

Berarti panjang pegas saat diberi gaya F_2 dapat diperoleh:

$$F_2 = k\,\Delta x_2$$

$$37{,}5 = 625\,.\,\Delta x_2$$

$$\Delta x_2 = \frac{37{,}5}{625}$$

$$= 0{,}06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

Jadi panjangnya menjadi:

$$x_2 = x_0 + \Delta x_2$$

$$= 20 + 6 = 26 \text{ cm}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua pegas A dan B panjangnya sama 25 cm. Pada saat pegas A ditarik gaya 13,5 N panjang-nya menjadi 28 cm. Sedangkan pegas B yang ditarik gaya 13,5 N ternyata panjangnya menjadi 30 cm. Tentukan perbandingan konstanta pegas A dan pegas B!

Aktiflah

Coba kalian cari kursi yang tempat duduknya dari kayu, karet dan spon. Coba kalian duduk di kursi tersebut dan bandingkan.

Apakah perbedaan yang kalian rasakan saat duduk?

Jelaskan, mengapa demikian?

3. Susunan Pegas

Pernahkah kalian melihat dalamnya tempat tidur atau springbed? Springbed ada yang tersusun dari pegas-pegas yang disusun dengan posisi sama. Contoh lagi adalah suspensi sepeda motor, perhatikan gambar 3.3. Bagaimana susunannya? Susunan tersebut dinamakan susunan paralel. Susunan pegas yang lain dinamakan seri. Cermati penjelasan berikut.



Gambar 3.3
Suspensi sepeda motor dipasang paralel

a. Susunan seri

Susunan pegas secara seri dapat dilihat contohnya seperti pada *Gambar 3.4(a)*. Pada saat diberi gaya maka semua pegas merasakan gaya yang sama. Konstanta pegas penggantinya memenuhi hubungan berikut.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + ... \quad .... (3.5)$$

Penting

Dua pegas yang dirangkai seri dapat ditentukan konstantanya dengan persamaan berikut.

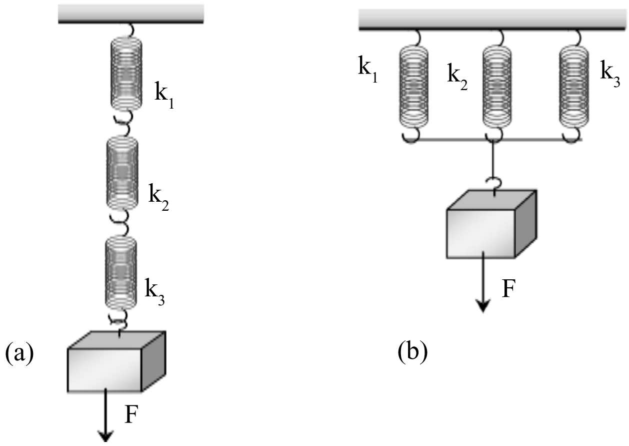
$$k_s = \frac{k_1 . k_2}{k_1 + k_2}$$

Buktikan kebenarannya!

b. Susunan paralel

Susunan pegas secara paralel dapat dilihat contohnya seperti pada *Gambar 3.4(b)*. Pada saat ditarik gaya maka pemanjangan pegas sama dan gaya yang diberikan dibagi sebanding konstantanya. Konstanta penggantinya memenuhi persaman berikut.

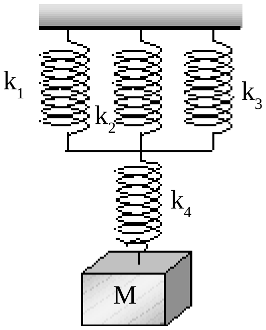
$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + ... \quad .... (3.6)$$



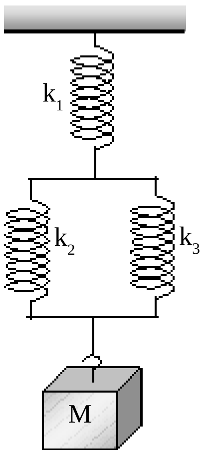
Gambar 3.4
(a) Pegas seri dan (b) pegas paralel.

c. Susunan campuran

Bagaimana jika beberapa pegas disusun campur? Tentu kalian sudah bisa menjawabnya bahwa pada rangkaian itu akan berlaku sifat gabungan. Dalam menganalisanya dapat ditentukan dengan memilih susunan yang sudah dapat dikategorikan seri atau paralelnya.



Gambar 3.5
Susunan pegas campuran



Gambar 3.6

CONTOH 3.3

Empat buah pegas memiliki konstanta masing-masing sebesar k_1 = 100 N/m, k_2 = 200 N/m, k_3 = 300 N/m. Ketiga pegasnya disusun paralel dan kemudian diseri dengan pegas lainnya sehingga susunannya seperti pada *Gambar 3.5*. Tentukan:

a. konstanta pegas pengganti,
b. pemanjangan susunan pegas jika digantungkan beban dengan massa 0,6 kg,
c. pemanjangan pegas k_4!

Penyelesaian

a. Konstanta pegas pengganti:

■ Pegas k_1, k_2 dan k_3 tersusun paralel berarti penggantinya memenuhi:

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3$$
$$= 100 + 200 + 300 = 600 \text{ N/m}$$

■ Pegas k_p dan k_4 seri berarti konstanta pengganti totalnya memenuhi:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_p}$$
$$= \frac{1}{600} + \frac{1}{300} = \frac{3}{600} \rightarrow k_s = \frac{600}{3} = 200 \text{ N/m}$$

Jadi $k_{tot} = k_s$ = 200 N/m

b. Pemanjangan pegas dapat ditentukan sebagai berikut.

$$F = m\,g$$
$$= 0,3 \,.\, 10 = 30 \text{ N}$$

$$= \frac{3}{200} = 0,015 \text{ m} = 1,5 \text{ cm}$$

c. k_4 seri dengan k_p berarti akan mendapat gaya yang sama dengan pegas sebandingnya, F = 3 N, berarti perpanjangannya:

$$\Delta x_4 = \frac{F}{k_4}$$
$$= \frac{3}{100} = 0,01 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

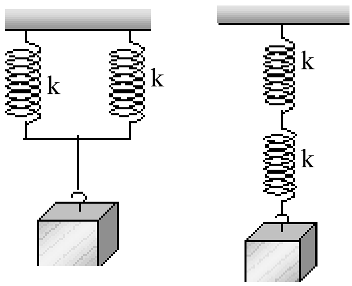
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Tiga buah pegas disusun seperti pada *Gambar 3.6*. k_1 = 600N/m, k_2 = 400 N/m dan k_3 = 800 N/m. Sebuah beban 0,5 kg digantungkan di bagian bawahnya. Tentukan:

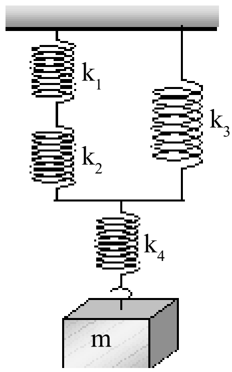
a. konstanta pengganti total,
b. perpanjangan pegas total,
c. gaya yang dirasakan k_1, k_2 dan k_3,
d. perpanjangan pegas k_1 dan k_2!

LATIHAN 3.1

1. Kawat dengan luas penampang 5.10^{-4} m^2 ditarik gaya 10 N. Berapakah tegangan yang dirasakan kawat tersebut?
2. Coba jelaskan apakah besaran-besaran yang mempengaruhi modulus elastisitas suatu bahan?
3. Batang logam panjangnya 60 cm dan luas penampangnya 3 cm^2. Modulus elastisitasnya sebesar 4.10^6 N/m. Tentukan:
   a. regangan batang,
   b. konstanta elastisitas batang (k),
   c. pertambahan panjang dan tegangan batang saat diberi gaya 15 N!
4. Sebuah pegas yang ditarik gaya 12 N dapat diukur panjangnya sebesar 15 cm. Kemudian saat diberi gaya 20 N ternyata panjangnya menjadi 17 cm.
   a. berapakah konstanta pegasnya,
   b. berapakah gaya yang diberikan jika terukur panjang pegas menjadi 19 cm?
5. Dua pegas identik dirangkai dengan dua cara seperti pada gambar di bawah.
   a. berapakah perbandingan konstanta penggantinya?



6. Empat buah pegas disusun seperti gambar. k_1 = 60 N/m, k_2 = 30 N/m, k_3 = 40 N/m, k_4 = 60 N/m. Kemudian bagian bawahnya diberi beban bermassa 600 gr. Tentukan:
   a. konstanta pegas pengganti,
   b. gaya yang dirasakan k_4 dan k_1,
   c. pertambahan panjang pegas k_4 dan k_2,
   d. pertambahan panjang pegas

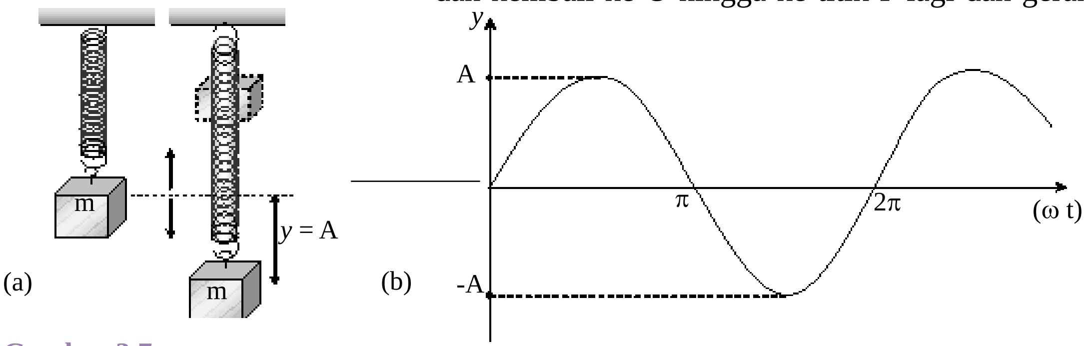


B. Getaran Pegas

Kalian tentu sering mendengar kata getaran atau sering disebut gerak harmonis. *Gerak harmonis* adalah gerak bolak-balik yang melalui lintasan yang sama secara periodik. Secara periodik berarti memiliki selang waktu bolak balik yang tetap. Waktu gerak bolak-balik itu disebut periode. Contoh gerak harmonis ini adalah ayunan anak-anak, gerak bandul jam dan getaran pegas. Cermati penjelasan getaran pegas berikut.

1. Persamaan Getaran

Sebuah beban m yang digantungkan beban dapat setimbang saat dibiarkan. Bagaimana jika ditarik hingga simpangan tertentu dan dilepaskan? Jawabannya dapat dilihat seperti pada *Gambar 3.7(a)*. Karena pegas memiliki gaya elastis yang selalu ingin kembali ke keadaan seimbang maka saat beban ditarik dari O (titik seimbang) ke titik P dan dilepaskan, beban akan kembali ke titik O. Tetapi sampai di titik O akan bergerak terus hingga berhenti di titik Q. Kemudian di titik Q mendapatkan gaya lagi dan kembali ke O hingga ke titik P lagi dan gerak



Gambar 3.7
(a) Getaran pegas (b) grafik simpangannya.

a. Simpangan getar

Simpangan pada benda yang bergetar dapat dituliskan seperti kurva pada *Gambar 3.7(b)*. Bentuknya memenuhi fungsi sinus. Berarti persamaan simpangan getarnya memenuhi fungsi berikut.

$$y = A \sin \omega t$$
$$\text{atau } y = A \sin \left(2\pi \frac{t}{T}\right) \quad \text{.................} (3.7)$$

dengan : y = simpangan (m)
A = amplitudo (A)
ω = frekuensi sudut (rad/s)
$\varphi = \frac{t}{T}$ = fase getaran

b. Kecepatan getar

Kecepatan getar dapat diturunkan dari deferensial simpangnya.

Penting

Deferensial fungsi trigonometri memenuhi:

- y = sin *a* t
  y' = *a* cos *a* t
- y = cos *a* t
  y' = –*a* sin *a* t

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(A \sin \omega t)$$

$$v = \square\ A \cos \square\ t \quad \text{..........................} \quad (3.8)$$

c. Percepatan getar

Percepatan getar dapat diturunkan dari deferensial kecepatan getarnya

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$= \frac{d}{dt}(\omega A \cos \omega t)$$

$$a = \square\ \square^2\ A \sin \square\ t \quad \text{......................................} (3.9)$$

Dari persamaan 3.9 dapat dilihat nilai A sin□t yang dapat diganti dengan y. Berarti percepatan getar memenuhi hubungan seperti berikut.

$$a = \square\square^2\ y \quad \text{..} (3.10)$$

CONTOH 3.4

Beban bermassa 300 gr digantungkan pada ujung pegas. Kemudian setelah seimbang beban ditarik sejauh 10 cm dan dilepaskan sehingga mengalami getaran. Periode getarannya 6 s. Pada saat t = 1s. Tentukan:

a. simpangan getar,
b. cepat getar,
c. percepatan getar!

Penyelesaian

A = 10 cm

$$T = 6s\ \square\ \square = \frac{2\pi}{6} = \frac{1}{3}\square \text{ rad/s}$$

t = 1 s

a. Simpangannya:

$$y = A \sin \square\ t$$

$$= 10 \sin \left(\tfrac{1}{3}\pi t\right) = 10 \, . \, \frac{1}{2}\sqrt{3} = 5\sqrt{3} \text{ cm}$$

b. Kecepatannya:

$$v = \square\ A \cos \square\ t$$

$$= \frac{1}{3}\square . \ 10 \cos \left(\tfrac{1}{3}\pi . 1\right)$$

$$= \frac{1}{3}\square . \ 10 . \ \frac{1}{2} = \frac{5}{3}\square \text{ m/s}$$

c. Percepatannya:

$$a = \square\ \square^2\ y = \square\left(\tfrac{1}{3}\pi\right)^2 . \ 10\sqrt{3} = \square\ \frac{10}{9}\sqrt{3} \text{ m/s}^2$$

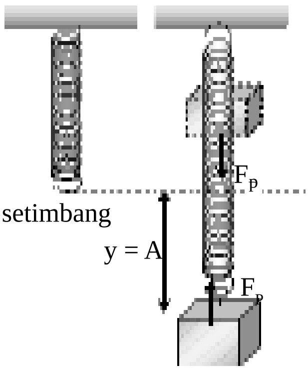
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah beban yang bergetar bersamaan pegas memiliki frekuensi $\frac{1}{12}$ Hz. Simpangan maksimumnya 8 cm. Setelah bergetar 3s tentukan:

a. simpangan getar,
b. kecepatan getar,
c. percepatan getar!

2. Periode dan Frekuensi Getaran

Jika kalian cermati penjelasan pada persamaan getaran maka kalian dapat menemukan ciri dari gerak benda yang bergetar. Coba kalian lihat kembali persamaan 3.10. Ternyata benda yang bergetar akan memiliki percepatan yang sebanding dengan negatif dari simpangannya. Perbandingannya merupakan kuadrat frekuensi sudutnya. $a = -\omega^2$ y.



Gambar 3.8
Gaya pemulih

Sifat ini sesuai sekali dengan penyebab gerak getaran itu yaitu gaya pemulih. Benda akan bergetar apabila dipengaruhi gaya yang memiliki arah selalu ke titik seimbangnya (bukan simpangannya). Pada getaran pegas ini gaya pemulih itu berasal dari gaya elastis pegas seperti berikut.

$$F = -k\,y \qquad \text{.................................. (3.11)}$$

Dari persamaan 3.10 dan 3.11 inilah dapat ditentukan periode dan frekuensi getaran. Cermati substitusi berikut.

$$F = -k\,y$$

$$m\,a = -ky$$

$$m\,(-\omega^2 y) = -k\,y$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Dengan substitusi $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dapat diperoleh periode getaran:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\text{dan } f = \frac{1}{T} \qquad \text{.................. (3.12)}$$

Dari persamaan 3.12 dapat diketahui bahwa periode T dan frekuensi *f* getaran pegas hanya dipengaruhi massa beban dan konstanta pegas.

CONTOH 3.5

Empat pegas identik, disusun seri dan dua paralel seperti pada Gambar 3.9. Kedua susunan pegas diberi beban m yang sama kemudian digetarkan. Jika susunan pegas (a) memiliki periode 8 s, maka tentukan periode susunan pegas (b)!

Penyelesaian

$T_a = 8$ s, $T_b = ?$

Perhatikan *Gambar 3.9*!

Periode getaran pegas memenuhi :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Getaran pada kedua pegas tersebut memiliki m sama tetapi berbeda nilai k. Dari kedua getaran itu memiliki hubungan sebagai berikut.

- Susunan pegas (a) adalah paralel berarti konstanta penggantinya:

  $k_p = k + k = 2k$

  Periodenya memenuhi:

  $$T_a = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_p}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}} = 8$$

- Susunan pegas (b) adalah seri berarti konstanta penggantinya:

  $$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{2}{k} \rightarrow k_s = \frac{1}{2}k$$

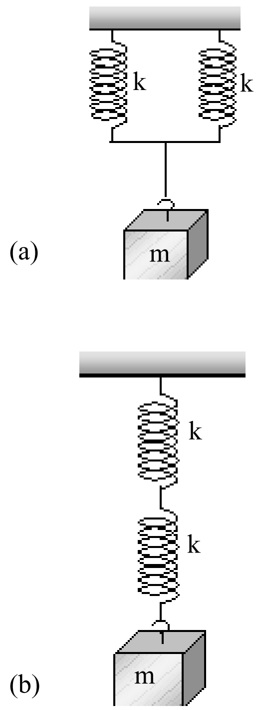
Berarti periode getaran pegas susunan (b) sebesar:

$$T_b = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_s}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{1}{2}k}} = 2\pi\sqrt{\frac{4m}{2k}} = z2\left(2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}\right) = 2 \,.\, 8 = 16$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

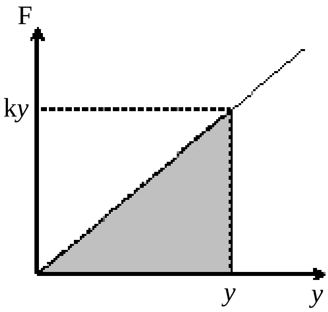
Sebuah pegas digantungi beban bermassa 50 gr. Saat digetarkan dapat terjadi getaran dengan frekuensi 36 Hz. Berapakah frekuensi getarannya jika bebannya diganti dengan benda bermassa 200 gr?



Gambar 3.9
Susunan pegas (a) paralel dan (b) seri.

3. Energi Getaran

Pada getaran pegas, bekerja gaya pemulih sepanjang geraknya. Gaya pemulih inilah yang menyebabkan getaran pegas memiliki energi potensial. Energi potensial ini dapat ditentukan dari grafik hubungan F_p dengan y, seperti pada *Gambar 3.10*. Besarnya energi potensial sama dengan luas kurvanya.



Gambar 3.10
Grafik F-y pegas

$$E_p = \frac{1}{2} F_p\, y \longrightarrow E_p = \frac{1}{2}\, k\, y \,.\, y$$

$$E_p = \frac{1}{2}\, k\, y^2 \qquad \text{............................ (3.13)}$$

Nilai k dapat ditentukan dari frekuensi sudutnya.

$$\omega^2 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = m\,\omega^2 \qquad \text{............................ (3.14)}$$

Benda yang bergetar mengalami gerak berarti juga memiliki energi kinetik, $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Dari dua nilai energi, E_p dan E_k maka getaran pegas memiliki energi mekanik. Dengan melihat kembali persamaan 3.7 (y = A sin ω t) dan persamaan 3.8 (*v* = ω A cos ω t) akan diperoleh energi mekanik sebagai berikut.

$$E_m = E_p + E_k$$

$$\begin{aligned} E_m &= \tfrac{1}{2} kg^2 + \tfrac{1}{2}\, mv^2 \\ &= kA^2 \sin^2 \omega t + \tfrac{1}{2} m\, (\omega^2 A^2 \cos^2 \omega t) \\ &= \tfrac{1}{2} kA^2 \sin^2 \omega t + \tfrac{1}{2} kA \cos^2 \omega t) \\ &= \tfrac{1}{2} kA^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) \end{aligned}$$

$$E_m = \tfrac{1}{2} kA^2 \qquad \text{............................ (3.15)}$$

Medan gaya pegas termasuk medan gaya konservatif. Masih ingat medan gaya konservatif pada Bab 2? Tentu saja masih berarti pada getaran pegas berlaku hukum *kekekalan energi mekanik getaran.*

$$E_m = E_p + E_k = \text{ tetap;}$$

atau $E_m = E_p + E_k = \tfrac{1}{2} k\, A^2$ .... (3.16)

CONTOH 3.6

Sebuah benda bermassa 0,2 kg mengalami getaran bersama pegas. Frekuensi getarannya 5 Hz dan amplitudo 10 cm. Pada saat simpangannya 8 cm, tentukan:

a. energi mekanik getaran,
c. energi kinetik getaran,

Penyelesaian

$m = 0,2$ kg, $f = 5$ Hz

$A = 10$ cm $= 10^{-1}$ m, $y = 8$ cm $= 8.10^{-2}$ m

$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 5 = 10\pi$ rad/s

a. Energi mekanik getaran sebesar:

$$E_m = \tfrac{1}{2} k A^2$$
$$= \tfrac{1}{2} m \omega^2 A^2$$
$$= \tfrac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot (10\pi)^2 \cdot (10^{-1})^2 = 0,1\pi^2 \text{ joule}$$

b. Energi potensial getaran sebesar:

$$E_p = \tfrac{1}{2} m \omega^2 y^2$$
$$= \tfrac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot (10\pi)^2 \cdot (8.10^{-2})^2 = 0,064.\pi^2 \text{ joule}$$

c. Energi kinetik getaran:

$$E_k = E_m - E_p$$
$$= 0,1\pi^2 - 0,064.\pi^2 = 0,036\,\pi^2 \text{ joule}$$

d. Kecepatan getar dapat ditentukan dari energi kinetiknya:

$$E_k = \tfrac{1}{2} m v^2$$

$$v^2 = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2.0,036.\pi^2}{0,2}} = 0,6\,\pi \text{ m/s}$$

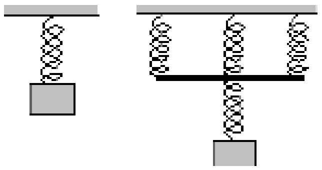
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Balok kecil bermassa 100 gr digantungkan pada ujung pegas. Kemudian balok ditarik sejauh 15 cm dan dilepaskan. Balok bergetar turun naik dengan periode 0,1s. Pada saat simpangannya 12 cm tentukan : energi mekanik, energi potensial, energi kinetik dan cepat getarnya!

LATIHAN 3.2

1. Suatu partikel bergetar selaras dengan amplitudo A cm dan periode T detik. Jika partikel mulai bergetar dari kedudukan seimbang dengan arah ke kanan, maka partikel mempunyai simpangan sebesar ½A cm dengan arah gerak ke kiri pada saat partikel telah bergetar selama t. Tentukan nilai t tersebut!
2. Amplitudo titik materi yang menempel di ujung sebuah garputala, hingga turut bergetar harmonik bersama garputala adalah 0,5 mm. Kecepatan partikel pada saat melalui titik seimbang 8 m/s, berapakah frekuensi garputala?
3. Sebuah bola dengan massa 20 gr digantung pada sepotong per (pegas). Kemudian bola ditarik ke bawah dari kedudukan setimbang lalu dilepaskan, ternyata terjadi getaran tunggal dengan frekuensi 32 Hz. Jika bola tersebut diganti dengan massa bola 80 gr, maka hitunglah frekuensi yang akan

4. Pada gambar (a) dan (b), semua pegas identik. Benda bermassa m melakukan gerak harmonis sederhana dengan frekuensi f_1 untuk gambar (a) dan f_2 untuk gambar (b), maka tentukan perbandingan frekuensi susunan a dan b!



5. Sebuah benda mengalami getaran selaras dengan amplitudo 30 cm. Jika tenaga potensial pada simpangan terjauh 90 J, maka berapakah energi

6. Sebuah benda yang massanya 400 gr melakukan gerak harmonik dengan amplitudo 5 cm dan frekuensinya $\frac{8}{\pi}$ Hz. Hitunglah energi getaran gerak harmonik tersebut!
7. Benda yang bermassa 125 gr bergetar harmonik dengan frekuensi 2 Hz dan amplitudo 30 cm. Berapakah besar energi kinetik pada saat simpangannya 20 cm?
8. Berapakah amplitudo getar sebuah pegas yang bergerak harmonik sederhana dengan simpangan $4\sqrt{3}$ cm sewaktu mempunyai energi potensial tiga kali energi kinetiknya?

Rangkuman Bab 3

1. Pada benda yang elastis memiliki besaran-besaran:
   a. regangan : $e = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$
   b. tegangan : $\sigma = \frac{F}{A}$
   c. modulus elastis : $E = \frac{\sigma}{e}$

   Modulus elastisitas E menyatakan tingkat elastis (kelenturan) bahan.
2. Pada benda yang elastis (pegas) berlaku hukum Hooke:
   $F = k\,\Delta x$
   Semakin besar gaya F yang diberikan pada pegas maka perubahan panjang semakin besar.
3. Jika pada pegas terjadi getaran maka akan berlaku:
   a. persamaan - persamaan:
      simpangan : $y = A \sin \omega t$
      kecepatan : $v = \omega A \cos \omega t$
      percepatan : $a = -\omega^2 A \sin \omega t$
   b. Periode dan frekuensi:
      $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \rightarrow f = \frac{1}{T}$
   c. Energi getaran:
      energi potensial : $E_p = \frac{1}{2} k y^2$
      energi kinetik : $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
      energi mekanik : $E_m = E_p + E_k = \frac{1}{2} k A^2$

Evaluasi Bab

1. Benda-benda yang diberi gaya akan bertambah panjang. Dan jika gaya dilepaskan akan memiliki sifat kembali ke keadaan semula. Sifat seperti ini dinamakan ....
   A. Keras
   B. Kelihatan
   C. Plastik
   D. Elastis
   E. Regangan
2. Senar yang terbuat dari plastik memiliki panjang 50 cm dan luas penampang 5 mm^2. Saat ditarik gaya panjangnya menjadi 65 cm. Regangan yang dialami senar adalah ....
   A. 0,2
   B. 0,3
   C. 0,5
   D. 0,8
   E. 1,2
3. Besarnya tegangan yang dilakukan pada sebuah batang adalah 2 x 10^6 N/m^2. Jika panjang batang adalah 4 meter dan modulus elastisitasnya 2,5 x 10^8 N/m^2, maka pertambahan panjang batang ....
   A. 0,8 cm
   B. 1,6 cm
   C. 3,2 cm
   D. 5,0 cm
   E. 6,4 cm
4. Sebuah senar elastis memiliki modulus Elastisitas sebesar 2.10^6 N/m^2. Jika panjang senar 50 cm dan luas penampangnya 10 mm^2 maka senar akan bersifat elastis dengan konstanta gaya elastis sebesar ….
   A. 10 N/m
   B. 40 N/m
   C. 100 N/m
   D. 400 N/m
   E. 1000 N/m
5. Sebuah benda yang massanya 5 kg, digantung pada ujung sebuah pegas, sehingga pegas bertambah panjang 10 cm. Dengan demikian tetapan pegas bernilai ....
   A. 50 N/m
   B. 20 N/m
   D. 2 N/m
   E. 500 N/m
6. Apabila sebatang baja dengan luas penampang A, panjang L, modulus elastisitas E, dipanaskan maka akan bertambah panjang l. Agar apabila dipanaskan panjang batang baja tersebut di atas tidak berubah, diperlukan gaya tekan sebesar ….
   A. A E lL
   B. A E l/ L
   C. A E L/ l
   D. A L/ (l E)
   E. E L/ (l A)
7. Pegas yang panjang awalnya 30 cm akan menjadi 35 cm saat ditarik gaya 20 N. Berapakah konstanta pegasnya?
   A. 1 N/m
   B. 10 N/m
   C. 40 N/m
   D. 60 N/m
   E. 400 N/m
8. Sebuah pegas memiliki panjang mula-mula 20 cm. Pada saat pegas ditarik dengan gaya 12,5 N, panjangnya menjadi 22 cm. Jika pegas ditarik gaya 37,5 N, maka panjang pegas akan menjadi ….
   A. 6 cm
   B. 26 cm
   C. 28 cm
   D. 42 cm
   E. 46 cm
9. Dua pegas dengan konstanta 300 N/m dan 600 N/m disusun seri. Kemudian diberi gaya 90 N, maka penambahan panjang totalnya sebesar ....
   A. 15 cm
   B. 30 cm
   C. 45 cm
   D. 50 cm
   E. 90 cm
10. Konstanta pegas pengganti pada rangkaian di bawah ini adalah ….
    A. 100 N/m
    B. 250 N/m
    C. 400 N/m



11. Suatu partikel melakukan getaran harmonik dengan amplitudo 10 cm dengan frekuensi1 Hz. Pada saat fasenya 1/3, maka simpangannya adalah ....
    A. 5 cm
    B. 6 cm
    C. 8 cm
    D. $5\sqrt{3}$ cm
    E. 10 cm
12. Sebuah partikel melakukan getaran selaras dengan frekuensi 5 Hz dan amplitudo 10 cm. Kecepatan partikel pada saat berada pada simpangan 8 cm adalah .... (dalam cm/s)
    A. 8π
    B. 30π
    C. 60π
    D. 72π
    E. 80π
13. Benda yang bergerak harmonik arah vertikal memiliki percepatan maksimum sebesar 8 m/s^2. Pada saat benda memiliki fase 7/12, percepatanya adalah ....
    A. 4 m/s^2, arah ke atas
    B. 4 m/s^2, arah ke bawah
    C. $4\sqrt{2}$ m/s^2, arah ke atas
    D. $4\sqrt{3}$ m/s^2, arah ke bawah
    E. 4 m/s^2, arah ke atas
14. Sebuah pegas yang panjangnya 20 cm digantungkan vertikal. Kemudian ujung bawahnya diberi beban 200 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik 5 cm ke bawah kemudian dilepas hingga beban bergetar harmonik. Jika g = 10 m/s^2, maka frekuensi getaran adalah ....
    A. 0,5 Hz
    B. 1,6 Hz
    C. 5,0 Hz
    D. 18,8 Hz
    E. 62,5 Hz
15. Pada getaran harmonik, jika massa beban yang digantung pada ujung bawah pegas 1 kg, periode getarannya 2 detik. Jika massa beban ditambah sehingga sekarang menjadi 4 kg, maka periode getarnya adalah ....
    A. ¼ detik
    B. ½ detik
    C. 1 detik
    D. 4 detik
    E. 8 detik
16. Dua getaran pegas, frekuensi getaran kedua setengah kali frekuensi getaran dianggap sama dan massa getaran pertama maka massa getaran kedua adalah ....
    A. ¼ m
    B. ½ m
    C. m
    D. 2 m
    E. 4 m
17. Pada saat energi kinetik benda yang bergetar selaras sama dengan energi potensialnya maka ....
    A. sudut fasenya 180^0
    B. fasenya ¾
    C. sudut fasenya 45^0
    D. fasenya ¼
    E. percepatannya nol
18. Untuk benda yang menjadi getaran harmonik, maka pada ....
    A. simpangan maksimum, kecepatan dan percepatannya maksimum
    B. simpangan maksimum, kecepatan dan percepatannya minimum
    C. simpangan maksimum, kecepatannya maksimum dan percepatannya nol
    D. simpangan maksimum, kecepatannya nol dan percepatannya maksimum
    E. simpangan maksimum, energinya maksimum
19. Sebuah pegas dengan konstanta *k* diberi beban yang massanya *m*. Benda digetarkan harmonis dengan amplitudo *A*. Energi kinetik benda itu pada saat simpanganya ½ amplitudo ialah ....
    A. 1/8 kA^2
    B. 1/4 kA^2
    C. 3/8 kA^2
    D. 1/2 kA^2
    E. 5/8 kA^2
20. Diantara pernyataan tentang energi berikut ini yang berlaku untuk gerak harmonik adalah ....
    A. berlaku hukum kekekalan energi mekanik
    B. di titik seimbangnya, energi potensialnya maksimum
    C. di simpangan terjauhnya, energi kinetiknya minimum
    D. energi kinetik maksimum pada saat energi potensialnya maksimum
    E. energi potensialnya menjadi maksimum saat berhenti bergetar

BAB

4

USAHA DAN ENERGI



Sumber: www.jatim.go.id

Perhatikan gambar di atas ada seorang yang sedang berjalan menelusuri jalan yang naik. Tentu kalian pernah mengalami juga. Pada saat naik kalian pasti akan terasa lebih berat. Dalam peristiwa itu seseorang telah melakukan usaha. Setelah itu orangnya akan terasa lebih lapar berarti energinya telah berkurang. Selain contoh itu, dalam kehidupan sehari-hari banyak kita jumpai kata-kata usaha dan energi. Sebenarnya apakah usaha dan energi itu dalam pandangan fisika? Bagaimanakah sifat-sifatnya? Apakah hubungan kedua besaran itu dan bagaimanakah peranannya ?

Pertanyaan-pertanyaan di atas itulah yang akan dibahas pada bab ini, oleh sebab itu setelah belajar bab ini diharapkan siswa dapat:

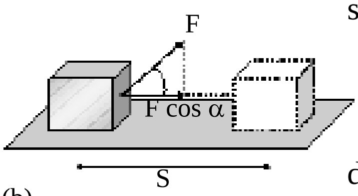
1. menentukan usaha yang dihasilkan oleh gaya,
2. menentukan energi potensial benda yang memiliki ketinggian tertentu,
3. menentukan energi kinetik benda yang bergerak,
4. menerapkan hubungan usaha dan energi dalam penyelesaian masalah fisika atau sehari-hari,
5. menerapkan hukum kekekalan energi pada kehidupan sehari-hari.

A. Definisi

1. Gaya dapat menghasilkan Usaha



(a)



(b)

Gambar 4.1

Di SMP kalian sudah belajar tentang usaha, apakah masih ingat? Coba kalian lihat *Gambar 4.1(a)*. Seseorang sedang mendorong mobil. Orang tersebut melakukan usaha jika orang tersebut memberi gaya pada mobil dan mobil dapat bergeser sejajar gayanya. Besarnya usaha tersebut didefinisikan sebagai hasil kali antara komponen gaya searah perpindahan gaya dengan perpindahannya. Dari definisi dan *Gambar 4.1(b)* dapat dirumuskan usaha sebagai berikut.

$$W = (F.S\ \alpha).s$$

$$W = F.S \cos \alpha \quad \text{.................................} \quad (4.1)$$

dengan : W = usaha (joule)
F = gaya (F)
S = jarak tempuh (m)
α = sudut antara gaya F dengan perpindahan S

CONTOH 4.1

Sebuah balok bermassa 30 kg ditarik gaya 60 N yang membentuk sudut $\alpha = 60^O$ terhadap horisontal seperti pada *Gambar 4.1(b)*. Pada saat balok dapat bergeser mendatar sejauh 3 m maka tentukan usaha yang dilakukan gaya tersebut!

Penyelesaian

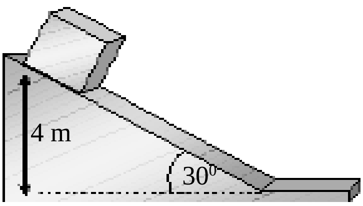
F = 60N
$\alpha = 60^O$
S = 3 m

Perhatikan *Gambar 4.1 (b)*, gaya yang bekerja membentuk sudut α terhadap perpindahannya, maka usaha yang dilakukan gaya dapat diperoleh seperti berikut.

$$W = F.S \cos \alpha$$
$$= 60.3.\cos 60^O = 180.\frac{1}{2} = 90 \text{ joule}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah balok berada di atas bidang miring licin seperti yang terlihat pada *Gambar 4.2*. Ketinggian awal balok adalah 4 m. Massa balok tersebut sebesar 10 kg. Kemudian balok meluncur ke bawah, berapakah usaha yang dilakukan gaya berat hingga balok sampai di lantai horisontal?

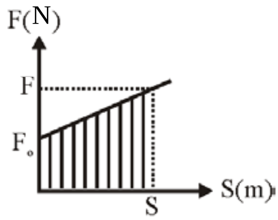


Gambar 4.2

Grafik F - S

Gaya yang bekerja pada benda dapat berubah-ubah terhadap perpindahannya. Bagaimana usaha dari gaya F itu? Jika perubahan gaya tersebut teratur, maka usaha yang dilakukan dapat ditentukan dengan konsep grafik F - S.

Contohnya F yang bekerja pada balok berubah terhadap S seperti pada grafik F - S *Gambar 4.3*. Usaha yang dilakukan gaya F tersebut dapat ditentukan dari luas daerah yang dibatasi kurva dan sumbu s.



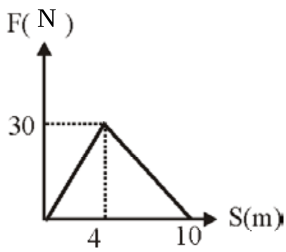
Gambar 4.3
Grafik F . S

Daerah yang dimaksud adalah daerah terarsir. Berarti dapat dirumuskan seperti di bawah ini.

W = luas kurva grafik F - S .... (4.2)

CONTOH 4.2

Sebuah balok di atas lantai mendatar yang licin didorong gaya mendatar yang berubah besarnya terhadap perpindahannya. Perubahannya terlihat seperti pada *Gambar 4.4*. Tentukan usaha yang dilakukan gaya F saat berpindah sejauh 10 m!



Gambar 4.4

Penyelesaian

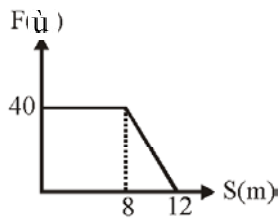
Usaha sama dengan luas daerah yang dibatasi kurva dan sumbu S. Hingga S = 10 m, grafiknya membentuk bidang segitiga berarti diperoleh usaha sebesar :

W = luas segitiga

= $\frac{1}{2}$(10).30 = 150 joule.

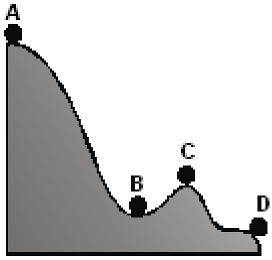
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Besar gaya yang bekerja pada balok berubah terhadap perpindahannya dan memenuhi grafik pada *Gambar 4.5*. Tentukan usaha yang dilakukan gaya tersebut!



Gambar 4.5

2. Energi Potensial



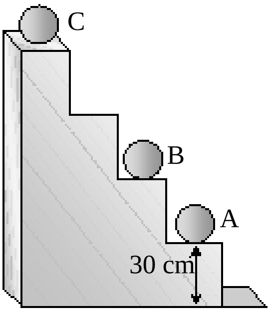
Gambar 4.6

Apakah kalian sudah tahu tentang energi potensial? Energi potensial adalah energi yang disebabkan oleh ketinggiannya. Contohnya seperti pada *Gambar 4.6*. Semua benda dititik A, B, C, dan D bermassa sama, tetapi ketinggiannya berbeda sehingga energi potensialnya berbeda. Massa A memiliki energi potensial terbesar dan massa D memiliki energi potensial terkecil.

Energi potensial juga dipengaruhi oleh massa benda. Semakin besar massanya maka energinya semakin besar. Dari penjelasan-penjelasan di atas, energi potensial dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Ep = m\,g\,h \quad \text{...} \quad (4.3)$$

dengan : Ep = energi potensial (joule)
m = massa benda (kg)
h = ketinggian (h)
g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)



Gambar 4.7

CONTOH 4.2

Tiga benda m_A = 2 kg , m_B = 4 kg dan m_C = 3 kg terletak di tangga seperti *Gambar 4.7*. Tiap tangga ketinggiannya 30 cm. Jika energi potensial massa B bernilai nol maka tentukan energi potensial m_A dan m_C!

Penyelesaian

m_A = 2 kg , m_B = 4 kg dan m_C = 3 kg
h_{AB} = -30cm = -0,3 m (di bawah B)
h_{CB} = + 60 cm = 0,6 m

Energi potensial dihitung berdasarkan titik acuannya. Di atas titik acuan bernilai positif dan di bawah titik acuan bernilai negatif. Berarti energi potensial massa tersebut memenuhi:

$E_A = m_A\, g\, h_{AB}$
$= 2.10\,(-0,3) = -6$ joule

$E_C = m_C\, g\, h_{CB}$
$= 3.10.(0,6) = 18$ joule

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda A bermassa 1,5 kg berada di atas meja sehingga 120 cm dan benda B bermassa 5 kg berada di atas kursi setinggi 60 cm. Tentukan perbandingan energi potensial benda A dan B!

3. Energi Kinetik

Mengapa sebuah peluru yang begitu kecil saat ditembakkan dan mengenai pohon bisa menembusnya? Tentu kalian dapat menjawabnya, yaitu karena peluru yang bergerak memiliki energi. Energi yang disebabkan gerak suatu benda inilah yang dinamakan *energi kinetik*.

Energi kinetik sebuah benda dipengaruhi oleh massa dan kecepatannya. Energi itu sebanding dengan massa benda dan kuadrat kecepatan benda. Dari hubungan ini, persamaan energi kinetik dapat ditentukan seperti berikut.

$$Ek = \frac{1}{2}\, m\, v^2 \qquad \text{..} \quad (4.4)$$

dengan : Ek = energi kinetik (joule)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s^2)

Untuk lebih memahami tentang energi kinetik ini dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 4.3

Sebuah benda bermassa m bergerak dengan kecepatan 20 m/s sehingga memiliki energi kinetik sebesar 250 joule. Berapakah energi benda tersebut jika kecepatannya menjadi 40 m/s?

Penyelesaian

v_1 = 20 m/s → Ek_1 = 250 joule

v_2 = 40 m/s → Ek_2 = ?

Energi kinetik benda sebesar:

$$Ek = \frac{1}{2}\, m\, v_2$$

massa benda dapat ditentukan dari keadaan pertama.

$$Ek_1 = \frac{1}{2}\, m\, v_1^2$$

$$250 = \frac{1}{2}\, m\, (20)^2$$

$$500 = m \cdot 400$$

$$m = 1{,}25 \text{ kg}$$

Berarti Ek_2 dapat diperoleh:

$$Ek_2 = \frac{1}{2}\, m\, v_2^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot (40)^2 = 1000 \text{ joule}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

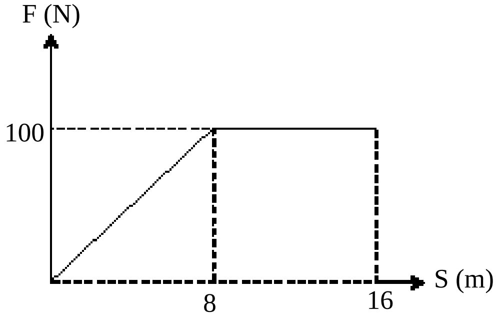
Untuk mempunyai energi sebesar 300 joule sebuah benda harus memiliki kecepatan 2,55 m/s. Berapakah kecepatan yang harus dimiliki benda itu agar kinetiknya sebesar 75 joule?

ATIHAN 4.1

1. Coba jelaskan apakah syarat yang harus dimiliki sebuah gaya agar menghasilkan usaha?

2. Sebuah balok bermassa 150 kg ditarik oleh gaya F = 200 N dengan arah 37^O terhadap horisontal (sin 37^O = 0,6). Jika balok dapat berpindah sejauh 15 m maka berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut?

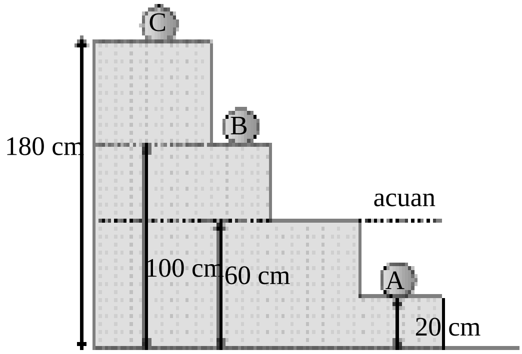
3. Gaya yang bekerja pada benda berubah terhadap jarak tempuhnya seperti pada grafik di bawah. Berapakah usaha yang dilakukan gaya pada interval 0 < S < 10 m?



4. Sebuah benda bermassa 2 kg jatuh dari ketinggian 3 m. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya berat benda?

5. Sebuah benda bermassa 5 kg jatuh dari ketinggian 10 m. Berapakah energi potensial benda yang hilang saat ketinggiannya 3 m!

6. Coba perhatikan benda-benda pada gambar di bawah. m_A = 4 kg , m_B = 2 kg dan m_C = 8 kg. g = 10 m/s^2. Berapakah energi potensial benda-benda tersebut pada titik acuan?



7. Coba kalian jelaskan mengapa energi potensial bisa bernilai positif dan juga bisa bernilai negatif. Apakah perbedaannya?

8. Benda A bermassa 15 kg mampu bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Sedangkan benda B bermassa 10 kg mampu bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Hitunglah perbandingan energi kinetik benda A dan benda B!

9. Untuk dapat bergerak dengan kecepatan 5 m/s sebuah benda harus diberi energi 125,6 joule. Berapakah energi tambahan yang harus diberikan pada benda agar kecepatannya menjadi 10 m/s?

B. Usaha dan Perubahan Energi

Coba kalian lihat kembali ilustrasi pada halaman judul bab ini. Ada seseorang berjalan pada jalan yang menanjak, mungkin kalian pernah juga melakukannya. Setelah naik yang cukup jauh ternyata perut dapat menjadi lapar. Mengapa bisa terjadi lapar? Ada rasa lapar artinya terjadi perubahan energi pada tubuh kita. Perubahan energi itu digunakan untuk melakukan usaha yaitu berjalan menaiki jalan menanjak.

Contoh kejadian lain adalah pada gerak mobil. Mobil bergerak berarti ada gaya mesin yang melakukan usaha. Darimana usaha itu diperoleh? Tentu kalian sudah dapat menebaknya. Usaha diperoleh dari perubahan energi bahan bakarnya. Dari uraian di atas dapat kalian temukan suatu simpulan yang menjelaskan hubungan usaha dan energi. Hubungan itu dapat dituliskan sebagai berikut.

usaha = perubahan energi

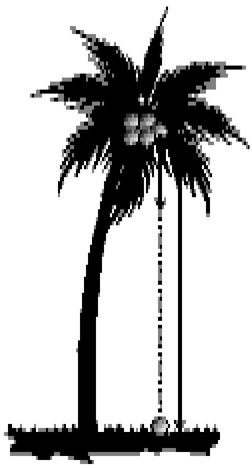
$$W = \Delta E \quad \text{.................................} \quad (4.5)$$

Pada bab ini kalian belajar tentang energi potensial gravitasi dan energi kinetik. Dapatkah kedua energi itu menghasilkan usaha? Untuk mendapatkan jawabannya maka kalian dapat menelusuri penjelasan berikut.

1. Ketinggian Berubah

Coba kalian perhatikan buah kelapa yang jatuh dari pohonya seperti pada *Gambar 4.8*. Dari titik awal A buah kelapa memiliki energi potensial sebesar *m g h*. Tetapi saat jatuh pada buah kelapa bekerja gaya berat w = mg. Berarti benda yang jatuh akan melakukan kerja. Besar usaha yang dilakukan memenuhi perumusan berikut.

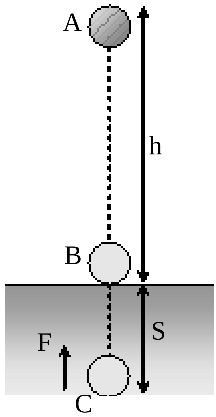
$$W = F \, . \, S$$
$$= (m\,g).h$$
$$W = m\,g\,h$$



Gambar 4.8

Besar usaha ini ternyata sama dengan perubahan energi potensialnya. E_{PA} = m g h dan E_{PB} = 0. Berarti berlaku konsep pada benda yang bergerak dan berubah ketinggiannya akan melakukan usaha sebesar perubahan energi potensialnya.

$$W = \Delta Ep \quad \text{..} \quad (4.6)$$



Gambar 4.9

CONTOH 4.4

Sebuah bola besi bermassa 20 kg jatuh bebas dari ketinggian 4 m diatas hamparan pasir. Sesampainya dipermukaan pasir bola besi tersebut bisa masuk sedalam 5 cm. Berapakah gaya tahan pasir terhadap bola?

Penyelesaian

m = 20 kg, h = 4 m

S = 5 cm = 5.10^{-2} m

F = ?

Gerak bola besi itu dapat digambarkan seperti pada *Gambar 4.9*. Pada gerak AB terjadi perubahan energi potensial sehingga dapat melakukan usaha. Usaha itulah yang dapat diimbangi oleh usaha gaya tahan pasir sehingga berlaku seperti berikut.

$$W = \Delta Ep$$

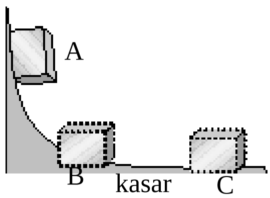
$$F . S = m\,g\,h_A - m\,g\,h_B$$

$$F . 5.10^{-2} = 20.10.4 - 20.10. - 0$$

$$F = 16000 \text{ N}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

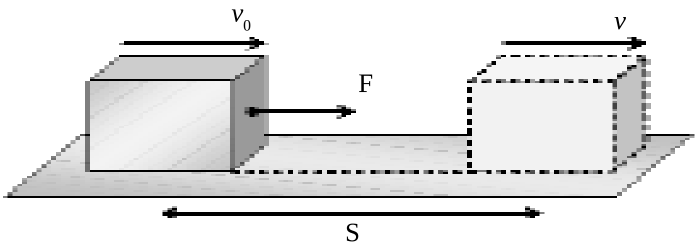
Sebuah balok kecil bermassa 0,2 kg dilepaskan dari ketinggian 2 m sebuah bidang luncur yang licin seperti pada *Gambar 4.10*. Bagaimana BC harusnya.Berapakah besar gaya geser balok dengan lantai jika balok berhenti sampai di titik C 100 cm dari B?



Gambar 4.10

2. Kecepatan yang berubah

Sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan v_0. Perhatikan *Gambar 4.11*. Apakah yang terjadi jika benda itu diberikan gaya? Sesuai hukum II Newton setiap ada gaya yang bekerja pada



Gambar 4.11
Gerak benda oleh gaya F sehingga berubah kecepatan.

Berarti percepatan tersebut dapat mengubah kecepatan benda. Masih ingat kelas X bab 3, kinematik gerak? Hubungan antara v, v_0, a dan S pada gerak GLBB memenuhi persamaan berikut.

$$v^2 = v_0^{\ 2} - 2\,a\,S$$

$$S = \frac{v^2 - v_0^{\ 2}}{2a}$$

Dari nilai S di atas, maka nilai S dapat disubtitusikan pada persamaan usaha yang dilakukan pada benda, sehingga diperoleh seperti berikut.

$$\begin{aligned} W &= F\,.\,S \\ &= m\,a\,.\,\frac{v^2 - v_0^{\ 2}}{2a} \\ &= \frac{1}{2}\,m\,v_0^{\ 2} - \frac{1}{2}\,m\,v^2 \\ W &= Ek - Ek_0 \end{aligned}$$

Dengan mengamati perlakuan di atas dapat diketahui bahwa usaha dapat mengubah energi kinetik benda dan berlaku:

$$W = \Delta Ek \qquad \text{...} \quad (4.7)$$

Cermati contoh berikut

CONTOH 4.5

Sebuah balok bermassa 4 kg memiliki kecepatan 15 m/s. Kemudian balok tersebut melewati bidang kasar sejauh 14,4 m sehingga kecepatannya tinggal 9 m/s. Berapakah besar gaya yang bekerja pada balok tersebut?

Penyelesaian

m = 4 kg, v_0 = 15 m/s

v = 9 m/s

S = 14,4 m

Gaya gesek dapat menghasilkan usaha sehingga mempunyai energi kinetik. Sesuai persamaan 4.5. dapat diperoleh:

$$W = \Delta Ek$$

$$-f .s = \frac{1}{2}\ m\, v_0^{\,2} - \frac{1}{2}\ m\, v^2$$

$$-f .\ 14,4 = \frac{1}{2}\ .\ 4(15^2 - 9^2)$$

$$f = -\ \frac{2}{14,4}(225 - 81)$$

$$= -\ 20\ N$$

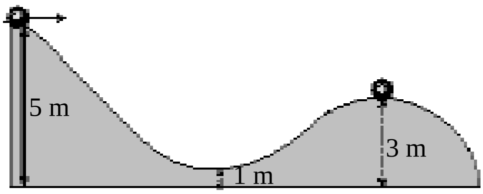
(-) berarti berlawanan arah gerak

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada sebuah balok yang berkecepatan 5 m/s diberikan gaya 15 N. Massa benda 10 kg. Berapakah jarak yang sudah ditempuh balok saat kecepatannya telah berubah menjadi 10 m/s?

ATIHAN 4.2

1. Sebuah bola bermassa 0,2 kg bergerak pada bidang seperti gambar di bawah. Gerak bola diawali di titik A hingga berakhir di titik B. Berapakah usaha yang dilakukan bola tersebut?



2. Balok bermassa 15 kg jatuh dari ketinggian 2,5 m dan mengenai tongkat yang panjangnya 50 cm. Jika gaya gesek tongkat dengan tanah sebesar 10^3N maka berapakah kedalaman yang dicapai tongkat setelah terhantam balok?

3. Benda bermassa 3 kg mula-mula diam kemudian diberikan gaya sebesar 15 N tetap. Berapakah kecepatan benda setelah menempuh jarak 2m?

4. Mobil bergerak dengan kecepatan 108 km/jam massa mobil dan penumpang sebesar 500 kg. Kemudian mobil direm mendadak sehingga dapat berhenti setelah menempuh jarak 2 m. Berapakah gaya pengereman rata-rata yang diberikan?

C. Hukum Kekekalan Energi

1. Energi Mekanik

Di depan kalian telah belajar tentang energi kinetik, energi potensial dan hubungan dengan usaha. Bagaimana jika benda bergerak memiliki ketinggian tertentu? Maka jawabnya adalah benda itu memiliki energi potensial dan juga energi kinetik. Jumlah kedua energi tersebut dinamakan *energi mekanik*.

$$E_m = E_p + E_k \quad \text{................................ (4.8)}$$

Medan gaya gravitasi termasuk medan *gaya konservatif*. Apakah gaya medan konservatif itu ? Tentu saja kalian masih ingat. Medan gaya konservatif adalah medan gaya yang memberlakukan *kekekalan energi mekanik*. Mengapa demikian? Gaya konservatif akan menghasilkan usaha yang tidak merubah energi mekaniknya. Berarti sebuah benda yang bergerak pada medan gaya gravitasi akan berlaku hukum kekekalan energi mekanik.

$$E_m = E_p + E_k = \text{kekal}$$

$$\text{dan } E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2} \quad \text{...................... (4.9)}$$

Hukum kekekalan energi mekanik persamaan 4.7 inilah yang dapat digunakan untuk menentukan ketinggian atau kecepatan benda. Untuk memahaminya cermatilah contoh berikut.

CONTOH 4.6

Sebuah bola bermassa 0,2 kg dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s dari ketinggian 1,5 m. Percepatan gravitasi g = 10 m/s. Berapakah ketinggian bola pada saat kecepatannya 5 m/s?

Penyelesaian

m = 0,2 kg

v_A = 10 m/s

h_A = 1,5 m

v_B = 5 m/s

h_B = ?

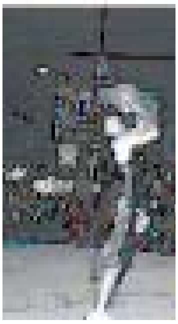
Ketinggian h_B dapat ditentukan dengan hukum kekekalan energi mekanik seperti berikut.

$$E_m = \text{tetap}$$

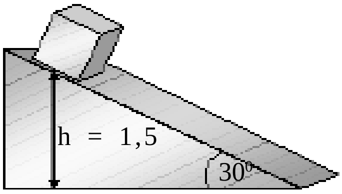
$$E_{PB} + E_{kB} = E_{pA} + E_{kB}$$

$$m\,g\,h_B + \frac{1}{2}\,m\,v_B^2 = m\,g\,h_A + \frac{1}{2}\,m\,v_A^2$$

$$10\,.\,h_B + \frac{1}{2}\,.\,5^2 = 10.1{,}5 + \frac{1}{2}\,.\,10^2$$



Gambar 4.12
Gerak bola

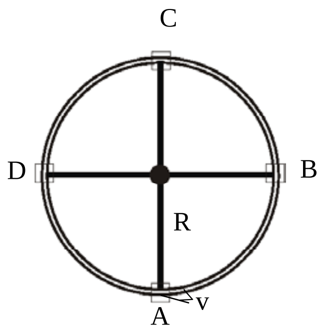


Gambar 4.13

$$h_B = \frac{52,5}{10} = 5,25 \text{ m}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Balok bermassa 1,5 kg digunakan di atas bidang miring licin dan sudut kemiringannya 30^0. Ketinggian arah 1,3 m dan kecepatannya 6 m/s. Berapakah kecepatan balok saat mencapai lantai?



Gambar 4.14

Kegiatan 4.1

Penyelidikan

Tujuan : Memahami kekekalan energi pada gerak roler coaster.

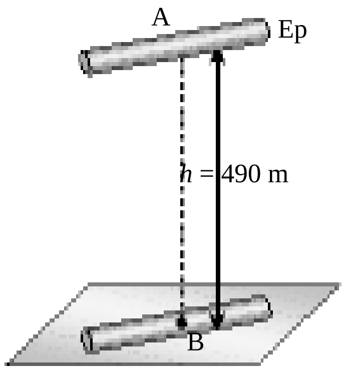
Kegiatan :

1. Perhatikan *Gambar 4.14* misalnya kecepatan di titik A, v = 15 m/s dan jari-jari roler coaster 1,4 m.
2. Jika gerak roler coaster memenuhi hukum kekekalan energi mekanik maka tentukan :

a. Perbedaan energi potensial di titik A dan C jika massa anak yang naik 30 kg dan g = 10 m/s,
b. Energi kinetik di titik C,
c. Kecepatan anak saat di titik C.

2. Kekekalan Energi Umum

Masih ingat tentang kekekalan energi secara umum? energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat berubah bentuk dari energi satu ke energi yang lain. Misalnya energi potensial dapat berubah menjadi kalor atau dapat berubah menjadi energi listrik (contohnya PLTA). Cermati contoh berikut untuk lebih memahaminya.



Gambar 4.15

CONTOH 4.7

1. Sepotong tembaga dijatuhkan dari ketinggian 490 meter di atas lantai. Kalor yang terjadi pada proses tumbukan dengan lantai 60%-nya diserap oleh tembaga untuk kenaikan suhunya. Jika kalor jenis tembaga = 420 J/kg^{O}C, percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, maka berapa kenaikan suhu tembaga? (dalam ^{O}C)

Penyelesaian

"Energi dapat berubah bentuk tapi tidak dapat dimusnahkan."

Ungkapan ini dikenal sebagai hukum kekekalan energi. Berarti pada batang tembaga yang jatuh itu kalornya berasal dari energi potensialnya.

$$Q = 60\% . Ep$$
$$m\,c\,\Delta t = 0{,}6 . m\,g\,h$$
$$420 . \Delta t = 0{,}6 . 10 . 490$$
$$\Delta t = 7^o\,C$$

2. Air terjun setinggi 10 m dengan debit 50 m^3/s dimanfaat-kan untuk memutarkan generator listrik mikro. Jika 25% energi air berubah menjadi energi listrik dan g = 10 m/s^2 , maka berapakah daya keluaran generator listrik?

Penyelesaian

h = 10 m

V = 50 m^3

t = 1s

η = 25 %

Generator listrik mikro tenaga air merupakan mesin yang merubah energi potensial air menjadi usaha dan usahanya berupa energi listrik. Berarti efisiensinya memenuhi:

$$\eta = \frac{W}{E_p}$$
$$W = \eta . E_P$$
$$= 25\,\% (\rho . V) . g . h$$

Jadi daya keluaran generator sebesar:

$$P = \frac{W}{t}$$
$$= \frac{25\%(\rho V)gh}{1}$$
$$= \frac{0,25(1000.50)10.10}{1}$$
$$= 1{,}25 . 10^6\ W = 1{,}25\ MW$$



Gambar 4.16

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah logam dijatuhkan dari ketinggian 100 m di atas lantai. Kalor yang terjadi pada proses tumbukan dengan lantai ¾-nya diserap oleh logam untuk kenaikan suhunya. Jika kalor jenis logam itu = 300 J/kg^{o}C, percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2, maka berapa kenaikan suhu tembaga?

ATIHAN 4.3

1. Sebuah benda dengan massa 2 kg, dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 40 m/s. Bila g = 10 m/s^2, tentukan besarnya energi kinetik saat ketinggian benda mencapai 20 m!

2. Sebuah kotak yang massanya 10 kg, mula-mula diam kemudian bergerak turun pada bidang miring yang membuat sudut 30° terhadap arah horisontal tanpa gesekan, menempuh jarak 10 m sebelum sampai ke bidang mendatar. Berapakah kecepatan kotak pada akhir bidang miring, jika percepatan gravitasi bumi g = 9,8 m/s^2?

3. Sebuah benda dilemparkan dari ketinggian 5 m di atas tanah dengan kecepatan awal 50 m/s dan sudut elevasi 60°. Jika g = 10 m/s^2, maka tentukan kecepatan benda saat mencapai ketinggian 50 m di atas tanah!

4. Air terjun yang tingginya 12 m menerjunkan air 1000 m^3/s dan dimanfaatkan oleh Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA). Bila percepatan

Rangkuman Bab 4

1. Gaya dapat menghasilkan usaha dan dapat memenuhi:

   $$W = F \cdot S \cos \alpha$$

2. Energi potensial adalah energi yang dimiliki benda karena ketinggiannya.

   $$E_p = m\,g\,h$$

3. Energi kinetik adalah energi benda yang disebabkan oleh geraknya.

   $$E_k = \frac{1}{2}\,mv^2$$

4. Usaha suatu gaya dapat merubah energi suatu benda dan sebaliknya.
   a. Perubahan ketinggian : $W = \Delta E_p$
   b. Perubahan kecepatan : $W = \Delta E_k$

5. Energi mekanik adalah energi total dari energi potensial dan energi kinetik.

   $$E_m = E_p + E_k$$

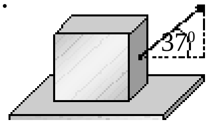
   Pada saat gravitasi (konservatif) energi mekanik kekal.

6. Energi potensial dapat berubah kebentuk energi yang lain seperti kalor dan listrik.

Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian!

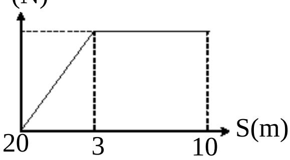
1. Balok bermassa 10 kg berada di atas lantai licin. Balok diberi gaya F = 25 N membentuk sudut 37^0 terhadap arah mendatar seperti gambar. Setelah menggeser ke kanan sejauh 2 m maka usaha yang telah dilakukan gaya F sebesar ..



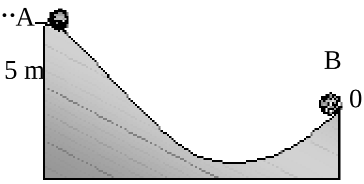
   A. 30 joule
   B. 40 joule
   C. 50 joule
   D. 100 joule
   E. 200 joule

2. Sebuah benda m = 3 kg bekerja gaya mendatar yang berubah terhadap jarak yang ditempuhnya, seperti grafik di bawah. Dari posisi awal gaya tariknya nol kemudian naik menjadi 20 N saat menempuh jarak 3 m setelah itu gaya yang bekerja tetap hingga S = 10 m. Jika arah gaya searah dengan perpindahannya maka usaha yang dilakukan gaya hingga menempuh jarak 7 m sebesar ....

   A. 110 joule
   B. 135 joule
   C. 140 joule
   D. 170 joule
   E. 200 joule



3. Sebuah bola bermassa 0,5 kg bergerak dari A ke C melalui lintasan lengkung, seperti gambar di samping. Apabila percepatan gravitasi = 10 ms^{-2}, maka usaha yang di lakukan bola dari A ke C adalah ....



   A. 25 J
   B. 20 J
   C. 15 J
   D. -25 J

4. Sebuah benda yang massanya 0,10 kg jatuh bebas vertikal dari ketinggian 2 m ke hamparan pasir. Jika benda itu masuk seda-lam 2 cm ke dalam pasir sebelum berhenti, gaya rata-rata yang dilakukan pasir untuk menghambat benda besarnya sekitar ....
   A. 30 N
   B. 50 N
   C. 60 N
   D. 90 N
   E. 100 N

5. Sebuah balok bermassa 4 kg bergerak dengan kecepatan awal 10 m/s^2 di atas lantai yang kasar. Karena kekasaran lantai tersebut, kecepatan balok bisa turun menjadi 5 m/s setelah menempuh jarak tertentu. Perubahan energi kinetik balok sebesar ....
   A. turun 150 joule
   B. naik 150 joule
   C. turun 50 joule
   D. naik 50 joule
   E. naik 250 joule

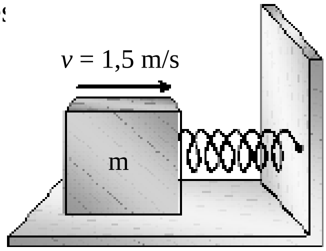
6. Sebuah benda bermassa 4 kg, mula-mula diam, kemudian bergerak lurus dengan percepatan 3 m/s^2. Usaha yang diubah menjadi energi kinetik setelah 2 detik adalah ....
   A. 6 J
   B. 12 J
   C. 24 J
   D. 48 J
   E. 72 J

7. Dua buah kapal layar A dan B yang mempunyai layar sama besar akan mengadakan lomba. Massa kapal A = m dan massa kapal B = 2 m, sedangkan gaya gesekan sedang diabaikan. Jarak yang ditempuh sebesar S dan lintasannya berupa garis lurus. Pada saat berangkat (start) dan sampai garis finis, kedua kapal layar memperoleh gaya angin sebesar F. Jika energi kinetik kapal A dan B, pada saat di finis berturut-turut besarnya Ek_A dan Ek_B,maka pernyataan di bawah yang

benar adalah...

A. $Ek_A = Ek_B$
B. $Ek_A > Ek_B$
C. $Ek_A = 2Ek_B$
D. $Ek_A < Ek_B$
E. $Ek_A = 0,5\ Ek_B$

8. Sebuah balok bermassa 1 kg menumbuk pegas yang posisinya mendatar seperti gambar. Saat balok menumbuk pegas kecepatannya 1,5 m/s dan dapat menekan pegas sejauh 10 cm. Konstant pegas tersebut sebes

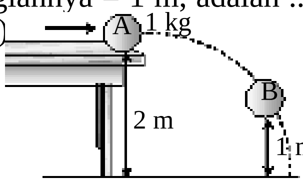


A. 2,25 N/m
B. 22,5 N/m
C. 225 N/m
D. 15 N/m
E. 0,15 N/m

9. Benda bermassa 5 kg dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s. Besarnya energi potensial di titik tertinggi yang dicapai benda adalah ($g = 10\ m/s^2$)

A. 200 J
B. 250 J
C. 300 J
D. 350 J
E. 400 J

10. Suatu partikel bermassa 1 kg didorong dari permukaan meja hingga kecepatan pada saat lepas dari bibir meja = 2 m/s seperti pada gambar di samping. Energi mekanik partikel pada saat ketinggiannya = 1 m, adalah .... (g = 10 m/s)



A. 2 J
B. 10 J
C. 12 J
D. 22 J
E. 24 J

11. Dua buah benda A dan B yng bermassa masing-masing m, jatuh bebas dari ketinggian h meter dan 2h meter. Jika A menyentuh tanah dengan kecepatan v m/s, maka benda B akan menyentuh tanah dengan energi kinetik sebesar ....

A. $\frac{1}{2}mv^2$
B. mv^2
C. $\frac{1}{4}mv^2$
D. $\frac{3}{4}mv^2$
E. $\frac{3}{2}mv^2$

12. Sebuah balok es dengan massa 50 kg, pada 0^0C, didorong di atas papan horizontal yang juga mempunyai suhu 0^0C sejauh 21 m. Ternyata 25 gram es mencair karena gesekan. Jika kalor lebur es = 80 kal/g, mka besarnya koefisien gesekan adalah ....

A. 0,5
B. 0,6
C. 0,7
D. 0,8
E. 0,9

13. Air terjun setinggi 20 m digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Setiap detik air mengalir 10 m^3. Jika efisiensi generator 55% dan percepatan gravitasi $g = 10\ m/s^2$, maka daya rata-rata yang dihasilkan (dalam kW) adalah ....

A. 110
B. 1100
C. 2200
D. 2500
E. 5500

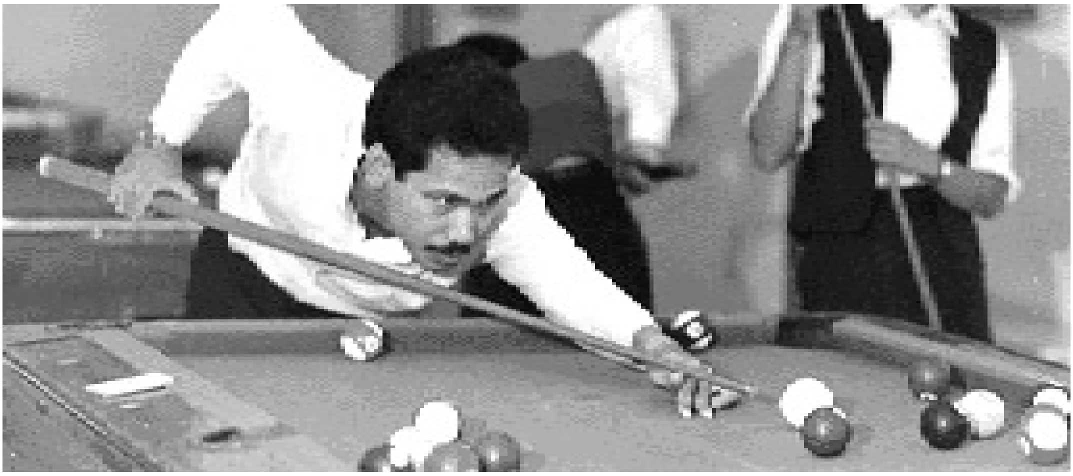
14. Suatu mesin melakukan usaha sebesar 3600 J setiap selang waktu 1 jam. Mesin tersebut memiliki daya sebesar ....

A. 1 watt
B. 10 watt
C. 100 watt
D. 10 kilowatt
E. 900 kilowatt

BAB

5

MOMENTUM DAN IMPULS



Sumber: www.tarankota.go.id

Pernahkah kalian melihat benda yang benturan? Contohnya seperti gambar di atas. Besaran-besaran apa saja yang dapat digunakan untuk menganalisa tumbukan itu? Bagaimanakah setelah terjadi tumbukan?

Semua hal di atas itulah yang dapat di pelajari pada bab ini sehingga setelah belajar bab ini diharapkan siswa dapat:

1. menentukan hubungan impuls dan momentum,
2. menerapkan definisi momentum dalam penyelesaian tumbukan,
3. membedakan jenis-jenis tumbukan yang terjadi.

A. Definisi Besaran

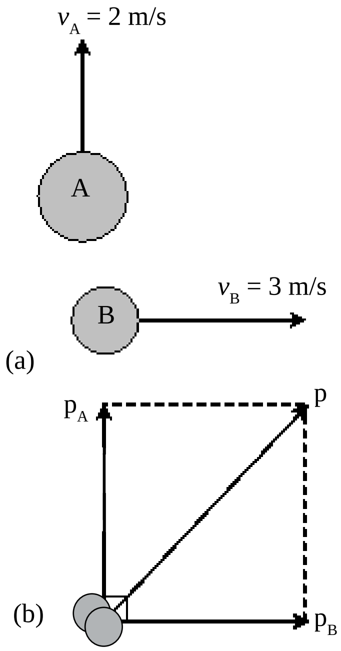
1. Momentum

Sudah tahukah kalian yang disebut momentum? Momentum sering disebut sebagai jumlah gerak. *Momentum* suatu benda yang bergerak didefinisikan *sebagai hasil perkalian antara massa dengan kecepatan benda*. Perhatikan persamaan berikut.

$$\vec{p} = m\,\vec{v} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

dengan : p = momentum (kg m/s)
m = massa benda (kg)
v = kecepatan benda (m/s)

Jika kalian perhatikan persamaan 5.1 maka kalian dapat menentukan jenis besaran momentum. Massa m merupakan besaran skalar dan kecepatan v adalah besaran vektor, berarti momentum merupakan besaran vektor. Karena besaran vektor maka menjumlahkan vektor harus mengetahui besar dan arahnya. Penjumlahan tersebut kita namakan resultan vektor.



Gambar 5.1

CONTOH 5.1

Dua benda A dan B masing-masing bermassa 4 kg dan 2 kg. Keduanya bergerak seperti pada *Gambar 5.1(a)*. Tentukan:
a. momentum benda A,
b. momentum benda B,
c. jumlah momentum kedua benda!

Penyelesaian

m_A = 4 kg , v_A = 2 m/s (sumbu Y)
m_B = 2 kg , v_B = 3 m/s (sumbu X)

a. momentum benda A, memenuhi:

$p_A = m_A \cdot v_A$
$= 4 \cdot 2 = 8$ kg m/s (sumbu Y)

b. momentum benda B, memenuhi:

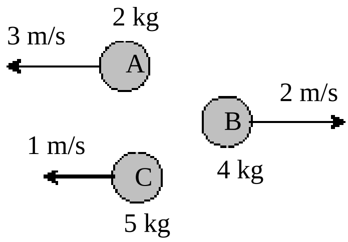
$p_B = m_B \cdot v_B$
$= 2 \cdot 3 = 6$ kg m/s (sumbu X)

c. Jumlah momentum kedua benda dapat ditentukan dengan resultan keduanya seperti pada *Gambar 5.1(b)*. Karena saling tegak lurus maka berlaku *dalil Pythagoras*:

$$p = \sqrt{p_A{}^2 + p_B{}^2}$$
$$= \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{100} = 10 \text{ kg m/s}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Tiga bola kecil seperti yang terlihat pada *Gambar 5.2*. Berapakah momentum masing-masing bola dan jumlah momentum semuanya?



Gambar 5.2
Tiga bola bergerak arah sejajar

2. Impuls

Impuls didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan waktu yang dibutuhkan gaya tersebut bergerak. Dari definisi ini dapat dirumuskan seperti berikut.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \qquad \text{............................(5.2)}$$

dengan : I = impuls (N)

F = gaya yang bekerja (W)

Δt = selang waktu kerja gaya (s)

Coba perhatikan persamaan 5.2, Δt merupakan besaran skalar sedangkan F adalah vektor berarti impuls adalah besaran vektor.

3. Hubungan besaran

Kalian pasti masih ingat hukum II Newton. Jika suatu benda yang bergerak dikenai gaya maka benda itu akan mengalami percepatan F = m a. Apa yang akan terjadi jika nilai F ini disubstitusikan pada persamaan 5.2? Jawabnya dapat diperhatikan seperti di bawah!

$$\vec{I} = \vec{F} \,.\Delta t$$

$$\vec{I} = m\,\vec{a} \,.\Delta\, t \qquad\qquad \vec{I} = m\, \Delta\vec{v}$$

Besaran apakah m Δv itu? Tentu kalian sudah tahu yaitu perubahan momentum. Berarti besar impuls dan momentum memilki hubungan yang cukup erat. Hubungan itu dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} \qquad \text{..}$$

dengan : I = impuls

Δp = perubahan momentum

Dari persamaan 5.3 dapat dikatakan bahwa setiap benda yang diberikan impuls pasti akan berubah momentumnya.



Gambar 5.3
Seorang petinju mendapatkan impuls dari lawannya.

CONTOH 5.2

Dalam suatu permainan sepak bola, seorang pemain melakukan tendangan pinalti. Tepat setelah ditendang bola melambung dengan kecepatan 60 m/s. Bila gaya bendanya 300 N dan sepatu pemain menyentuh bola selama 0,3 s maka tentukan:

a. impuls yang bekerja pada bola,

b. perubahan momentumnya,
c. massa bola!

Penyelesaian

v_0 = 0, v = 60 m/s, F = 300 N dan Δt = 0,3 s

a. impuls yang bekerja pada bola sebesar:

$\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$
$= 300 . 0,3 = 90$ Ns

b. perubahan momentum bola sama dengan besarnya impuls yang diterima.

$\Delta\vec{p} = \vec{I} = 90$ kg m/s

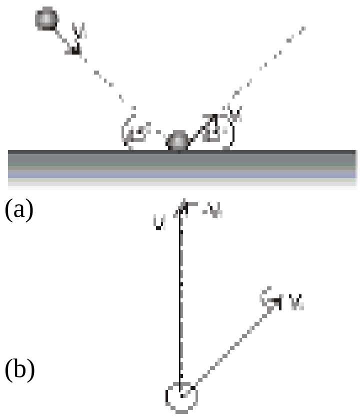
c. massa bola dapat ditentukan dengan hubungan berikut.

$\Delta\vec{p} = \vec{I}$
$m\,\Delta v = 90$
$m . (60 - 0) = 90$ berarti $m = \frac{90}{60} = 1,5$ kg.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bola bermassa 1,2 kg mula-mula bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Kemudian bola ditendang hingga bola bergerak balik dengan kecepatan 40 m/s. Waktu kaki menyentuh bola 0,45. Tentukan: (a) perubahan momentum bola, (b) impuls yang diberikan pada bola dan (c) gaya yang diterima bola!

Momentum merupakan besaran vektor sehingga selain dipengaruhi besar, vektor juga dipengaruhi oleh arahnya. Perubahan momentum dapat terjadi karena ada perubahan besar momentum, ada perubahan arah momentum atau kedua-duanya. Cermati contoh berikut.



Gambar 5.4
(a) bola menumbuk lantai lapangan; dan
(b) perubahan kecepatan $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$

CONTOH 5.3

Bola tennis bermassa 0,2 kg dipukul sehingga memiliki kecepatan 10 m/s dan menumbuk lantai lapangan dengan sudut 45^{O}. Bola terpantul dan arahnya membelok seperti *Gambar 5.4 (a)*. Jika besar kecepatan bola tetap maka berapakah impuls gaya yang diberikan lantai pada bola?

Penyelesaian

m = 0,2 kg
Besar v_1 - v_2 = 10 m/s
Secara vektor dapat dituliskan persamaan vektor kecepatan.

$\vec{\Delta v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$

Perubahan ini dapat digambarkan secara vektor seperti pada *Gambar 5.4 (b)*. Δv dibentuk dari v_2 dan ($-v_1$) yang saling tegak lurus berarti besar Δv memenuhi dalil Pythagoras.

$$\Delta v = \sqrt{v_1^{\,2} + v_1^{\,2}}$$

$$= \sqrt{()^{2} + ()^{2}} = ()\sqrt{2}$$

Berarti besar impuls gaya yang diberikan oleh lantai memenuhi :

$I = m\Delta v$

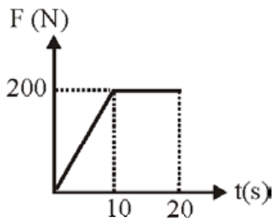
$= 0{,}2 \cdot 10\sqrt{2} = 2\sqrt{2}$ Ns

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bola bermassa 300 gr memiliki kecepatan 15 m/s. Tiba-tiba menubruk tembok hingga arahnya berubah 180^{O} (berbalik arah). Berapakah impuls gaya yang diberikan?

Grafik F - t

Gaya yang bekerja pada benda dapat berubah setiap saat. Perubahan gaya ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik F - t seperti pada *Gambar 5.5*. Bagaimana impuls yang bekerja pada benda yang dikenai gaya berubah tersebut?



Gambar 5.5

Dari definisinya impuls merupakan hasil kali gaya dan selang waktunya. $I = F.\Delta t$. Nilai perkalian ini dapat ditentukan dari luas kurva pada grafik F - t. Berarti berlaku.

I = luas grafik F - t .... (5.4)

CONTOH 5.4

Sebuah mobil yang mulai berjalan diberi gaya yang berubah terhadap waktu memenuhi grafik seperti *Gambar 5.5*. Berapakah impuls yang diberikan dalam selang waktu 20 menit pertama?

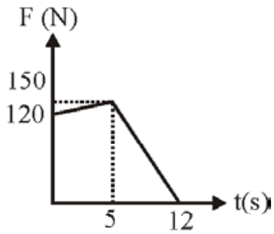
Pernyelesaian

Gaya berubah terhadap waktu hingga t = 20 s, grafiknya membentuk bidang trapesium berarti impuls gayanya dapat diperoleh :

$$I = \text{luas trapesium}$$

$$I = (20 + 10) \cdot \frac{200}{2}$$

$$= 3000 \text{ Ns}$$



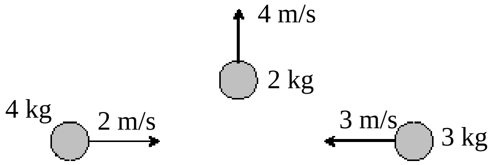
Gambar 5.6

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perubahan gaya yang bekerja pada benda dapat terlihat seperti pada *Gambar 5.6.* Tentukan impuls gaya yang bekerja pada benda dalam selang waktu 0 < t < 12 s!

ATIHAN 5.1

1. Perhatikan gambar benda-benda bergerak dibawah. Tentukan perbedaan momentum benda-benda tersebut!



2. Dua bola A dan B masing-masing bermassa 1,5 kg dan 2 kg bergerak seperti gambar di bawah.Tentukan momentum tebal kedua benda!



3. Sebuah truk yang massanya 1500 kg sedang melaju dengan kecepatan 72 km/s. Kemudian truk tersebut menabrak sebuah pohon dan berhenti dalam waktu 0,2 detik. Tentukan:
   a. perubahan momentum truk,
   b. gaya rata-rata pada truk selama berlangsungnya tabrakan!
4. Bola bermassa 0,2 kg bergerak dengan kecepatan 50 m/s kemudian merubah belok sehingga berbalik arah dengan laju yang sama. Jika gaya tekan tembok sebesar 200 N maka berapakah selang waktu bola menyentuh tembok?

B. Kekekalan Momentum

1. Tidak ada pengaruh Gaya

Masih ingat benda yang bergerak GLB? Gerak lurus beraturan(GLB) adalah gerak yang percepatannya nol dan kecepatannya tetap. Percepatan sebuah benda nol jika benda tidak dipengaruhi gaya. Keadaan ini akan sesuai dengan benda yang tidak di pengaruhi oleh impuls. Impuls akan merubah momentum benda. Berarti jika tidak dipengaruhi impuls maka *momentumnya kekal* (kecepatan tetap). Keadaan ini dapat dituliskan seperti berikut.

Jika I = 0 maka
$p_{awal} = p_{akhir}$ ....(5.5)

Keadaan pada persamaan 5.6 inilah yang dikenal sebagai *hukum kekekalan momentum*.

CONTOH 5.3

Sebutir peluru bermassa 30 gr ditembakan dari senapan yang massanya 1,5 kg. Jika peluru saat lepas memiliki kecepatan 100 m/s maka tentukan kecepatan senapan sesaat setelah peluru lepas?

Penyelesaian

m_p = 30 gr = 3 . 10^{-2} kg
m_s = 1,5 kg
v_p = 100 m/s

Pada saat peluru dan senapan tidak dipengaruhi impuls dari luar sehingga berlaku hukum kekekalan momentum. lihat *Gambar 5.7*.

$$p_{awal} = p_{akhir}$$
$$0 = m_p\, v_p - m_s\, v_s$$
$$m_s\, v_s = m_p\, v_p$$
$$1{,}5.v_s = 3.10^{-2} \,.\, 100$$
$$v_s = 2 \text{ m/s}$$


Gambar 5.7
Gerak peluru dan senapannya

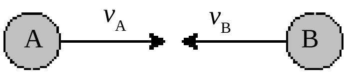
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Seseorang bermassa 60 kg berada di atas perahu yang sedang bergerak dengan kecepatan 2 m/s. Massa perahu 240 kg. Orang tersebut melompat dari perahu dengan laju 4 m/s. Berapakah kecepatan perahu sesaat setelah orang melompat. Jika orang tersebut melompat:

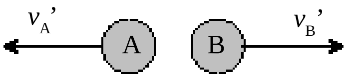
a. searah perahu,
b. berlawanan arah perahu!

2. Tumbukan

Kata tumbukan tentu tidak asing lagi bagi kalian. Mobil bertabrakan, permainan tinju dan permainan bilyard merupakan contoh dari tumbukan. Untuk di SMA ini dipelajari *tumbukan sentral* yaitu tumbukan yang sejenis dengan titik beratnya sehingga lintasannya lurus atau satu dimensi.



(a) sebelum tumbukan



(b) setelah tumbukan

Gambar 5.8
Kemungkinan perubahan kecepatan tumbukan.

Setiap dua benda yang bertumbukan akan memiliki tingkat kelentingan atau elastisitas. Tingkat elastisitas ini dinyatakan dengan *koefisien restitusi* (e). Koefisien restitusi didefinisikan sebagai nilai negatif dari perbandingan kecepatan relatif sesudah tumbukan dengan kecepatan relatif sebelumnya.

$$e = -\frac{\Delta v'}{\Delta v}$$

$$\text{atau} \quad e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B} \qquad \text{.......................} (5.6)$$

Berdasar nilai koefisien restitusi inilah, tumbukan dapat dibagi menjadi tiga. Tumbukan elastis sempurna, elastis sebagian dan tidak elastis. Pahami ketiga jenis tumbukan pada penjelasan berikut.

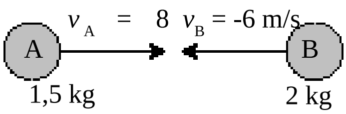
a. Tumbukan elastis sempurna

Tumbukan elastis sempurna atau lenting sempurna adalah tumbukan dua benda atau lebih yang memenuhi *hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik*. Pada tumbukan ini memiliki koefisien restitusi satu, e = 1. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 5.4

Bola A 1,5 kg dan bola B 2 kg bergerak saling mendekati dengan kecepatan masing-masing 8 m/s dan 6 m/s. Jika kedua bola tersebut bertumbukan secara lenting sempurna, maka berapakah:

a. jumlah momentum setelah tumbukan,
b. energi kinetik setelah tumbukan,
c. kecepatan kedua bola setelah bertumbukan!



Gambar 5.9
Keadaan bola sebelum tumbukan.

Penyelesaian

m_A = 1,5 kg , v_A = 8 m/s
m_B = 2 kg , v_B = 6 m/s

Tumbukan lenting sempurna sehinga berlaku:

a. Jumlah momentum setelah tumbukan sama dengan sebelum tumbukan berarti berlaku:
$p'_{tot} = p_{tot}$

$= m_A v_A + m_B v_B$

$= 1{,}5 \cdot 8 + 2(-6) = 0$

b. Energi kinetik setelah tumbukan sama dengan sebelum tumbukan.

$E_{k'} = E_k$

$= \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$

$= \frac{1}{2} \cdot 1{,}5 \cdot 8^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 6^2 = 66$ joule

c. Kecepatan setelah tumbukan sama dapat ditentukan dari nilai e dan hukum kekekalan momentum.

$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B} = 1$$

$$-\frac{v_A' - v_B'}{8-(-6)} = 1$$

$$-v_A' + v_B' = 14$$

$$v_B' = 14 + v_A'$$

Hukum kekekalan momentum:

$$p'_{tot} = p_{tot}$$

$$m_A v_A' + m_B v_B' = m_A v_A + m_B v_B$$

$$1{,}5\, v_A' + 2\, v_B' = 1{,}5 \cdot 8 + 2(-6)$$

$$1{,}5\, v_A' + 2(14 + v_A') = 0$$

$$3{,}5\, v_A' = -28$$

$$v_A' = -\frac{28}{3{,}5} = -8 \text{ m/s}$$

Substitusikan v_A' pada persamaan v_B' diperoleh:

$v_B' = 14 + v_A' = 14 - 8 = 6$ m/s.

Dari penyelesaian tersebut kedua bola setelah tumbukan berbalik arahnya.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bola A bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan 6 m/s mengejar bola B yang bermassa 4 kg dan kecepatannya 4 m/s (searah). Jika kedua bola bertumbukan lenting sempurna maka tentukan:

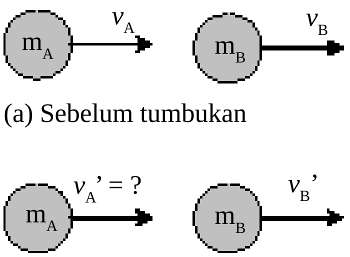
a. momentum setelah tumbukan,

b. energi kinetik setelah tumbukan,

c. kecepatan bola setelah tumbukan!

b. Tumbukan elastis sebagian

Pada tumbukan elastis (lenting) sebagian juga berlaku kekekalan momentum, tetapi energi kinetiknya hilang sebagian. Koefisien restitusi pada tumbukan ini memiliki nilai antara nol dan satu ($0 < e < 1$).



Gambar 5.10
Gerak tumbukan benda

CONTOH 5.5

Bola A 2 kg bergerak dengan kecepatan 4 m/s. Sedangkan bola B 3 kg bergerak di depan bola A dengan kecepatan 2 m/s searah. Setelah tumbukan kecepatan bola B menjadi 4 m/s. Tentukan:

a. kecepatan bola A setelah tumbukan,
b. koefisien restitusi!

Penyelesaian

m_A = 2 kg $\quad$ v_B = 2 m/s
v_A = 4 m/s $\quad$ v_B' = 4 m/s
m_B = 3 kg

a. Pada setiap tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum sehingga diperoleh:

$$m_A\, v_A + m_B\, v_B = m_A\, v_A' + m_B\, v_B'$$

$$2 \,.\, 4 + 3 \,.\, 2 = 2 \,.\, v_A' + 3 \,.\, 3$$

$$14 = 2\, v_A' + 9$$

$$v_A' = \frac{5}{2} = 2{,}5 \text{ m/s}$$

b. Koefisien restitusinya sebesar:

$$e = -\frac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$$

$$= -\frac{2{,}5 - 3}{4 - 2} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25.$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bola A = 3 kg dan bola B = 4 kg bergerak saling mendekati dengan kecepatan masing-masing 4 m/s dan 2 m/s. Jika setelah tumbukan bola B memiliki kecepatan 1 m/s searah bola A maka tentukan:

a. kecepatan bola A setelah tumbukan,
b. koefisien restitusi tumbukan!

c. Tumbukan tidak elastis

Tumbukan tidak elastis atau tidak lenting merupakan peristiwa tumbukan dua benda yang memiliki ciri setelah tumbukan kedua benda bersatu. Keadaan ini dapat digunakan bahasa lain, setelah bertumbukan; benda bersama-sama, benda bersarang dan benda bergabung. Kata-kata itu masih banyak lagi yang lain yang terpenting bahwa setelah bertumbukan benda menjadi satu.

Jika tumbukannya seperti keadaan di atas maka koefisien restitusinya akan nol, e = 0. Pada tumbukan ini sama seperti yang lain, yaitu berlaku *hukum kekekalan momentum*, tetapi energi kinetiknya tidak kekal. Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 5.6

Mobil bermassa 500 kg melaju dengan kecepatan 72 km/jam. Kemudian mobil tersebut menabrak truk yang ada didepannya yang bermassa 2000 kg dan berkecepatan 36 km/jam searah geraknya. Jika setelah tumbukan mobil dan truk tersebut bergerak bersama-sama maka tentukan kecepatan setelah tumbukan!

Penyelesaian

m_M = 500 kg
v_M = 72 km/jam
m_T = 2000 kg
v_T = 36 km/jam

Tumbukan tidak elastis berarti $v_M' = v_T'$, nilainya dapat ditentukan dengan hukum kekekalan momentum. Perhatikan hukum kekekalan momentum di bawah.

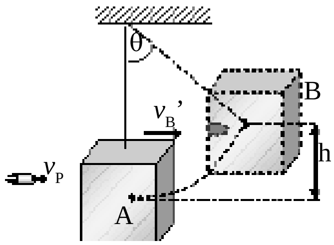
$$m_M v_M + m_T v_T = (m_M + m_T) v'$$
$$500 \,.\, 72 + 2000 \,.\, 36 = (500 + 2000) v'$$
$$36000 + 72000 = 2500 v'$$
$$v' = \frac{108.000}{2500}$$
$$= 43{,}2 \text{ km/jam}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Benda A 5 kg dan benda B 3 kg. Kedua benda bergerak berlawanan arah dengan kecepatan masing-masing 2 m/s dan 4 m/s. Jika setelah bertumbukan kedua benda menempel maka tentukan kecepatan kedua benda setelah bertumbukan!

d. Penerapan Tumbukan

Konsep tumbukan ini banyak sekali penerapannya. Salah satu contohnya adalah *ayunan balistik*. Ayunan balistik banyak digunakan untuk uji kecepatan pemicu atau kekuatan senapan. Perhatikan contoh berikut.



Gambar 5.11
Ayunan balistik

CONTOH 5.7

Balok kayu tergantung oleh seutas tali yang panjangnya ℓ = 40 cm seperti pada *Gambar 5.11*. Balok tersebut ditembak mendatar dengan sebutir peluru yang bermassa 20 gr dan kecepatan v_p. Massa balok 9,98 kg dan percepatan gravitasi 10 m/s^2. Jika peluru mengenai balok dan bersarang didalamnya sehingga balok dapat bergerak naik setinggi 10 cm maka berapakah kecepatan peluru tersebut?

Penyelesaian

m_p = 20 gr = 2.10^{-2} kg
m_B = 9,98 kg
g = 10 m/s
h = 10 cm = 0,1 m
v_p = ?

Pada ayunan balistik tersebut dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu tumbukan dan gerak AB. Pada gerak AB berlaku hukum kekekalan energi sehingga dapat diperoleh v_B' seperti berikut.

$$Ek_A = Ep_B$$
$$\frac{1}{2} m\, v_B'^2 = m\, g\, h$$
$$v_B'^2 = 2 \,.\, 10 \,.\, 0{,}1$$
$$v_B' = \sqrt{2} \text{ m/s}$$

Tumbukan peluru dan balok. Pada tumbukan ini berlaku kekekalan energi.

$$p_{awal} = p_{akhir}$$
$$m_p\, v_p = (m_p + m_B)\, v_B'$$
$$0{,}02\, v_p = (0{,}02 + 9{,}98) \,.\, \sqrt{2}$$
$$v_p = \frac{10\sqrt{2}}{0{,}02}$$
$$= 500\sqrt{2} \text{ m/s}$$

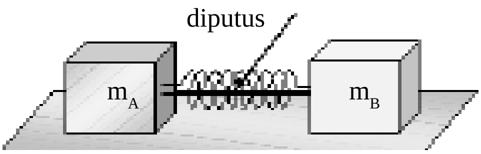
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah senapan memiliki peluru yang bermassa 10 gr. Untuk mengetahui kekuatan luncur peluru dilakukan uji balistik. Balok yang digunakan bermassa 1,49 kg dan digantungkan dengan tali sepanjang 20 cm. Saat peluru ditembakkan dapat mengenai balok dan bersarang sehingga balok dapat bergerak naik. Tinggi maksimum dicapai saat tali membentuk sudut 60^{O} terhadap vertikal. Tentukan kecepatan peluru

ATIHAN 5.2

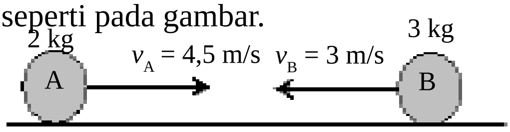
1. Sebuah mobil mainan bermassa 1,5 kg bergerak dengan kecepatan tetap 10 m/s. Jika beban 1 kg diletakkan di atas mobil mainan tersebut maka berapakah kecepatannya sekarang?

2. Dua balok m_A = 3 kg dan m_B = 2 kg dipasang pada ujung-ujung pegas. Kemudian pegas dimampatkan dan diikat tali seperti gambar. Jika tali diputus ternyata balok A dapat bergerak dengan kecepatan 1,2 m/s. Berapakah kecepatan balok B?



3. Sebuah granat yang meledak menjadi dua bagian, maka bagian-bagiannya akan bergerak saling menjauhi. Coba jelaskan mengapa bisa demikian? Bagaimana perbandingan kecepatan geraknya?

4. Dua bola bergerak saling mendekati seperti pada gambar.



   Jika kedua bola bertumbukan lenting sempurna maka tentukan :
   a. jumlah energi kinetik bola setelah tumbukan
   b. kecepatan kedua bola setelah tumbukan

5. Sebuah benda bermassa 3 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s menuju tembok pada arah horisontal. Kemudian benda menumbuk tembok dengan koefisien restitusi 0,4. Berapakah kecepatan benda setelah tumbukan?

6. Sebuah mobil bermassa 500 kg sedang melaju dengan kecepatan 54 km/jam. Tiba-tiba mobil ditabrak sebuah truk dari belakangnya dan akhirnya bergerak bersama-sama. Jika massa truk 1000 kg dan kecepatannya 72 km/jam maka berapakah kecepatan mobil setelah menabrak?

7. Pada uji balistik digunakan balok bermassa 1,98 kg dan diikat dengan tali sepanjang 50 cm. Jika yang diujikan adalah peluru yang bermassa 20 gr dan dilepaskan dari senapan yang mampu berkecepatan 200 m/s maka tentukan :
   a. tinggi maksimum balok

Rangkuman Bab 5

1. Momentum merupakan besaran vektor. Besarnya didefinisikan sebagai perkalian massa dengan kecepatan.

   $p = m\,v$

2. Impuls juga besaran vektor. Besarnya didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya F dengan selang waktu Δt.

   $I = F \,.\, \Delta t$

3. Jika pada benda bekerja impuls maka momentumnya akan berubah dan memenuhi hubungan:

   $I = \Delta p$

   $F \,.\, \Delta t = m\, \Delta\, v$

4. Jika pada benda atau sistem tidak bekerja impuls maka pada benda atau sistem itu akan berlaku hukum kekekalan momentum.

   $p_{awal} = p_{akhir}$

5. Tumbukan benda dapat dianalisa dengan momentum dan impuls. Pada tumbukan memiliki tingkat kelentingan (elastisitas) yang dinamakan *koefisien restitusi*.

   $e = -\dfrac{v_A' - v_B'}{v_A - v_B}$

6. Berdasarkan nilai e, tumbukan dapat dibagi menjadi 3.
   a. Tumbukan elastis sempurna, berlaku:
      - kekekalan momentum
      - kekekalan energi kinetik
      - $e = 1$
   b. Tumbukan elastis sebagian, berlaku:
      - kekekalan momentum
      - energi tidak kekal
      - $0 < e < 1$
   c. Tumbukan tidak elastis, berlaku:
      - kekekalan momentum
      - energi tidak kekal
      - $e = 0$

7. Penerapan tumbukan contohnya adalah ayunan balistik. Pada ayunan balistik dapat dianalisa dengan dua tahap:
   a. tumbukan : kekekalan momentum
   b. gerak naik : kekuatan energi mekanik.

Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan 2 m/s keutara. Sedangkan benda lain yang bermassa 3 kg bergerak dengan kecepatan 1 m/s keutara. Besar momentum totalnya adalah ....
   A. 1 kg m/s
   B. 2 kg m/s
   C. 3 kg m/s
   D. 4 kg m/s
   E. 7 kg m/s

2. Dua buah benda titik bermassa m_1 = 5 kg dan m_2 = 6 kg terletak berdekatan di bidang datar licin. Sistem ini mendapat impuls gaya hingga kedua benda bergerak masing-masing dengan laju v_1 = 1 m/s dan v_2 = 2 m/s dengan arah saling tegak lurus. Besarnya impuls gaya yang bekerja pada sistem adalah (dalam Ns).
   A. 5
   B. 7
   C. 12
   D. 13
   E. 17

3. Benda yang beratnya 40 N bergerak lurus dengan kecepatan tetap 35 m/s. Besarnya momentum benda setelah bergerak 2 detik adalah ....
   A. 10 kgm/s
   B. 35 kgm/s
   C. 70 kgm/s
   D. 140 kgm/s
   E. 1400 kgms

4. Sebuah mobil massanya 2 ton, mula-mula diam, kemudian bergerak selama 5 sekon hingga kecepatannya mencapai 10 m/s. Gaya dorong (penggerak) yang diperlukan mobil tesebut adalah ....
   A. 500 N
   B. 1000 N
   C. 2000 N
   D. 4000 N
   E. 8000 N

5. Sebuah partikel yang bermassa 2 kg bergerak lurus menyusuri sumbu x dengan besar kecepatan mula-mula 3 m/s searah sumbu x positif. Bila gaya 6 n searah sumbu x negatif bekerja pada partikel itu selama 3s, maka ....
   (1) besar kecepatan akhir 6 m/s
   (2) arah kecepatan akhir searah sumbu x negatif
   (3) partikel pernah berhenti
   (4) setelah 3 s kecepatan partikel tetap
   Yang benar adalah ....
   A. semua
   B. 1, 2 dan 3
   C. 1 dan 3
   D. 2 dan 4
   E. 4 saja

6. Kalian telah mengetahui definisi dan juga satuan dari impuls. Dimensi besaran impuls tersebut adalah ......
   A. MLT^{-1}
   B. MLT^{-2}
   C. $MLT^{-1}T^{-1}$
   D. $ML^{-2}T$
   E. $ML^{2}T^{-2}$

7. Sebuah bola yang mula-mula diam kemudian disodok tongkat dengan gaya 50 N, dalam waktu 10 ms. Jika massa bola 0,2 kg, maka kecepatan bola setelah disodok adalah ......
   A. 0,25 m/s
   B. 2,5 m/s
   C. 25 m/s
   D. 250 m/s
   E. 2.500 m/s

8. Sebuah senapan mempunyai massa 4 kg menembakan peluru yang massanya 10 gram dengan kecepatan 500 ms^{-1}. Kecepatan gerak senapan pada saat peluru meledak adalah ....
   A. 0,8 ms^{-1}
   B. 1,25 ms^{-1}
   D. 200 ms^{-1}
   E. 1250 ms^{-1}

9. Bola A yang bergerak lurus dan mempunyai momentum mv, menumbuk bola B yang bergerak pada garis lurus yang sama. Jika setelah tumbukan bola A mempunyai momentum -3 mv, maka pertambahan momentum bola B adalah ....
   A. 2 mv
   B. -2 mv
   C. 3 mv
   D. -4 mv
   E. 4 mv

10. Sebuah granat bermassa 5 kg pecah menjadi 2 bagian dengan perbandingan massa 2 : 3. Jika bagian yang besar berkecepatan 10 m/s maka perbandingan energi kinetik bagian yang kecil dan yang besar adalah ....
    A. 1 : 2
    B. 3 : 1
    C. 1 : 3
    D. 2 : 3
    E. 3 :2

11. Dua buah bola A dan B dengan massa m_A = 3 kg; m_B = 2 kg bergerak saling mendekati dengan laju v_A = 2 m/s; v_B = 3 m/s. Keduanya bertumbukan secara lenting sempurna, maka laju bola A sesaat setelah tumbukan adalah ....
    A. 2 m/s
    B. 3 m/s
    C. 5 m/s
    D. 10 m/s
    E. 15 m/s

12. Sebuah benda yang mula-mula diam ditumbuk oleh benda lain. Bila massa kedua benda sama dan tumbukan lenting sempurna, maka
    (1) Setelah tumbukan, kecepatan benda yang menumbuk nol dan benda kedua kecepatannya sama dengan benda pertama sebelum menumbuk.
    (2) Koefisien restitusinya satu
    (3) Jumlah momentum linier kedua benda, sebelum dan sesudah tumbukan sama besar.
    (4) Sebelum dan sesudah tumbukan, jumlah energi kinetik kedua benda itu sama besar.

    Yang benar adalah ....
    A. semua
    B. 1, 2 dan 3
    C. 1 dan 3
    D. 2 dan 4
    E. 4 saja

13. Peluru dengan massa 10 kg dan kecepatan 900 m/s mengenai dan menembus sebuah balok dengan massa 80 kg yang diam di bidang datar tanpa gesekan. Kecepatan peluru setelah menembus balok 100 m/s. Kecepatan balok karena tertembus peluru adalah ....
    A. 10 m/s
    B. 1 m/s
    C. 0,5 m/s
    D. 0,1 m/s
    E. 30 m/s

14. Sebuah benda massa 1/2 kg bergerak dengan kecepatan 5 m/s, menumbuk sebuah benda lain bermassa 1/3 kg yang dalam keadaan diam. Bila setelah menumbuk kedua benda bergabung dalam geraknya, maka kecepatan benda setelah tumbukan adalah ....
    A. 2,0 m/s
    B. 2,5 m/s
    C. 3,0 m/s
    D. 5,0 m/s
    E. 6,0 m/s

15. Sebutir peluru bermassa 6 gr di tembakan dan bersarang pada ayunan balistik yang massa baloknya 1 kg, menyebabkan balok naik 7 cm dari kedudukan setimbangnya. Jika g = 9,8 m/s^2, maka kecepatan peluru yang ditembakan adalah ....
    A. 169 m/s
    B. 196 m/s
    C. 691 m/s
    D. 961 m/s
    E. 916 m/s

BAB

6

ROTASI BENDA TEGAR



Sumber: www.sci.news.co

Gerak benda ada berbagai jenis ada gerak lurus, getaran dan ada lagi gerak melingkar atau gerak rotasi. Contoh benda yang bergerak rotasi adalah orang yang membuka pintu, gerak rotasi bumi, gerak roda dan seperti gambar di atas seseorang yang melepas ban mobil.

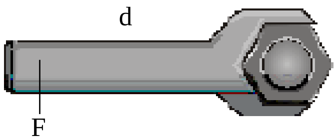
Bagaimana sebuah benda dapat berotasi, besaran apakah yang mempengaruhi, bagaimana percepatan, energi dan momentumnya? Semua pertanyaan inilah yang dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini diharapkan kalian dapat:

1. menentukan momen gaya dan momen inersia suatu benda yang berotasi,
2. menentukan syarat-syarat benda yang seimbang rotasi,
3. menentukan percepatan benda yang berotasi,
4. menentukan energi kinetik rotasi dan momentum sudut,

A. Momen Gaya dan Momen Inersia

1. Momen Gaya

Apakah kalian sudah mengetahui tentang momen gaya? Coba kalian amati roda yang berputar, pintu yang berotasi membuka atau menutup atau permainan roda putar di pasar malam. Mengapa semua itu bisa berputar atau berotasi? Besaran yang dapat menyebabkan benda berotasi itulah yang dinamakan *momen gaya* atau *torsi*.

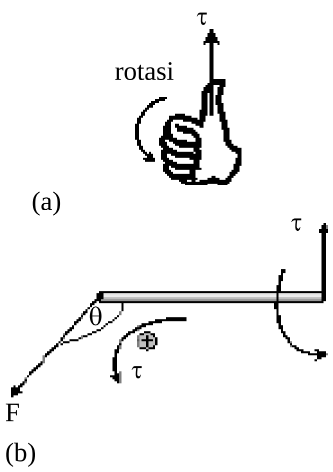


Gambar 6.1
Memutar sebuah baut perlu ada gaya dan lengan tertentu.

Momen gaya merupakan besaran yang dipengaruhi oleh gaya dan lengan. Lihat pada *Gambar 6.1*, untuk memutar baut diperlukan lengan d dan gaya F. Besar momen gaya *didefinisikan* sebagai hasil kali antara gaya yang bekerja dengan lengan yang saling tegak lurus. Bagaimana jika membutuhkan sudut tertentu? Besarnya dapat memenuhi persamaan berikut.

$$\tau = d \cdot F \quad ; \text{ atau}$$

$$\tau = d\, F \sin \theta \quad \text{.......................} \quad (6.1)$$

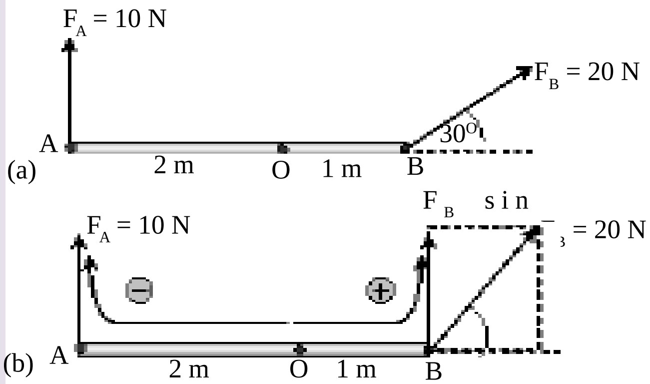


Gambar 6.2
(a) Kaedah tangan kanan (b) arah torsi dan arah rotasi.

Momen inersia merupakan besaran vektor. Besarnya memenuhi persamaan 6.1 dan arahnya sesuai kaedah tangan kanan seperti pada *Gambar 6.2*.

CONTOH 6.1

Batang AB bebas berputar di titik O. Seperti pada *Gambar 6.3(a)*. Panjang AB = 3 m, AO = 2 m dan OB = 1 m. Pada titik A bekerja gaya F_A = 10 N dan pada titik B bekerja gaya F_B = 20 N. Tentukan torsi yang bekerja pada batang dan arah putarnya.



Gambar 6.3
(a) Benda dipengaruhi gaya (b) pengaruh torsi.

Penyelesaian

Untuk menentukan torsi batang AB dapat digambarkan nilai t positif atau negatif dan gaya yang tegak lurus. Lihat *Gambar 6.3(b)*. Maka torsi di titik O memenuhi:

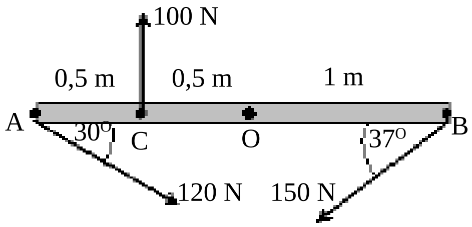
$$\tau_0 = -(OA)F_A + (OB) . F_B \sin 30^O$$

$$= -2. 10 + 1. 20 . \frac{1}{2} = -10 \text{ Nm}$$

τ_0 bernilai negatif berarti batang AB akan berotasi searah jarum jam dengan poros di titik O.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Batang AB yang panjangnya 2 m dipengaruhi tiga gaya seperti pada gambar. Tentukan torsi batang tersebut di titik O.



Penting

Arah momen gaya dapat menggunakan perjanjian:

- τ negatif jika memutar searah jarum jam
- τ positif jika memutar berlawanan arah jarum jam.

2. Momen Inersia

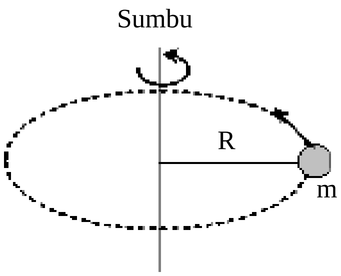
Pada gerak rotasi ini, kalian dikenalkan besaran baru lagi yang dinamakan *momen inersia*. Inersia berarti lembam atau mempertahankan diri. Momen inersia berarti besaran yang nilainya tetap pada suatu gerak rotasi. Besaran ini analog dengan massa pada gerak translasi atau lurus.

Besarnya momen inersia sebuah partikel yang berotasi dengan jari-jari R seperti pada *Gambar 6.4* didefinisikan sebagai hasil kali massa dengan kuadrat jari-jarinya. $I = m R^2$.

Untuk sistem partikel atau benda tegar memenuhi hubungan berikut.

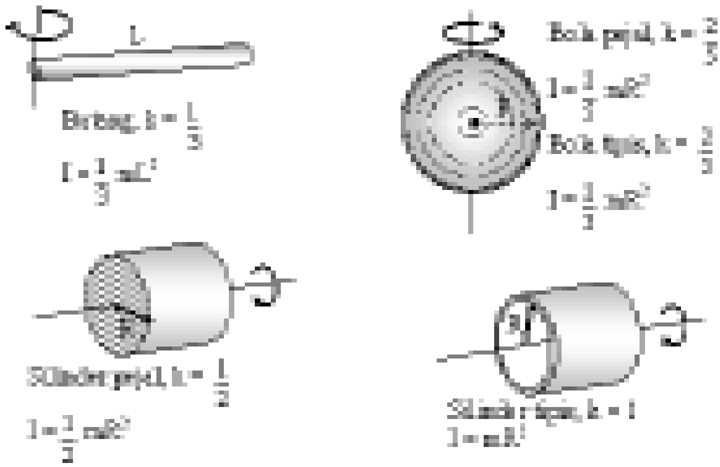
Sistem partikel : $I = \Sigma mR^2$

Benda tegar : $I = k\, m\, R^2$ .... (6.2)



Gambar 6.4
Partikel bermassa m berotasi mengelilingi sumbunya dengan jari-jari R.

k adalah nilai konstanta inersia yang besarnya tergantung pada suhu dan bentuk bendanya. Perhatikan *Gambar 6.5*.



Gambar 6.5
Beberapa benda berotasi dengan sumbu dan nilai konstanta inersia k.

CONTOH 6.2

Silinder pejal berjari-jari 8 cm dan massa 2 kg. Sedangkan bola pejal berjari-jari 5 cm dan massa 4 kg. Jika kedua benda tadi berotasi dengan poros melalui pusatnya maka tentukan perbandingan momen inersia silinder dan bola!

Penyelesaian

m_S = 2 kg, R_S = 8 cm = 8.10^{-2} m

m_B = 4 kg, R_B = 5 cm = 5.10^{-2} m

Momen inersia silinder pejal :

$$I_S = \frac{1}{2}\, m_S\, R_S^{\,2} = \frac{1}{2} \,.\, 2.\, (8.10^{-2})^2 = 64.10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Momen inersia bola pejal :

$$I_B = \frac{2}{5}\, m_B\, R_B^{\,2} = \frac{2}{5} \,.\, 4.\, (5.10^{-2})^2 = 40.10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Perbandingannya sebesar :

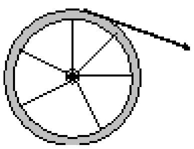
$$\frac{I_S}{I_B} = \frac{64.10^{-4}}{40.10^{-4}} = \frac{8}{5}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

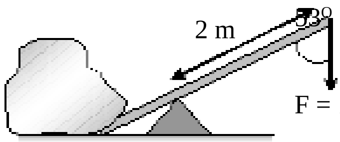
Roda tipis berjari-jari 30 cm dan massa 1 kg menggelinding bersama bola pejal berjari-jari 8 cm dan massa 1,5 kg. Tentukan perbandingan momen inersia bola dan roda.

LATIHAN 6.1

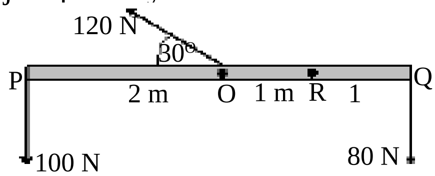
1. Sebuah roda berjari-jari 20 cm kemudian dililiti tali dan ditarik dengan daya 100 N seperti pada gambar. Berapakah momen gaya yang bekerja pada roda tersebut?



2. Faza sedang mendongkrak batu dengan batang seperti pada gambar. Berapakah momen gaya yang diberikan oleh Faza?



3. Batang PQ panjangnya 4 m dipengaruhi tiga gaya seperti pada gambar. Tentukan momen gaya yang bekerja pada batang dan arah putarnya jika porosnya di titik O.



4. Kaleng tempat biskuit yang sudah habis isinya digunakan mainan oleh Dhania. Massa kaleng 200 gr dan jari-jarinya 15 cm. Kaleng tersebut digelindingkan pada lantai mendatar. Jika tutup dan alas kaleng diabaikan maka tentukan momen inersia kaleng

B. Hukum Newton Gerak Rotasi

1. Keseimbangan Benda Tegar

Di kelas X kalian telah belajar tentang hukum Newton. Masih ingat hukum I Newton? Tentu saja masih. Jika benda dipengaruhi gaya yang jumlahnya nol $\Sigma F = 0$ maka benda akan lembam atau seimbang translasi.

Hukum I Newton di atas itulah yang dapat dikembangkan untuk gerak rotasi. Jika suatu benda dipengaruhi momen gaya yang jumlahnya nol ($\Sigma\tau = 0$) maka benda tersebut akan seimbang rotasi.

Kedua syarat di atas itulah yang dapat digunakan untuk menjelaskan mengapa sebuah benda tegar itu seimbang. Sebuah benda tegar akan seimbang jika memenuhi keadaan syarat di atas. Berarti berlaku syarat di bawah.

$$\Sigma F = 0$$

$$\text{dan } \Sigma\tau = 0 \quad \text{..................................} \quad (6.3)$$

Untuk memahami syarat-syarat pada persamaan 6.3 dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 6.3

1. Sebuah papan panjangnya 2 m diberi penopang tiap-tiap ujungnya seperti pada *Gambar 6.6(a)*. Massa papan 10 kg. Pada jarak 50 cm dari penopang B diletakkan beban 80 N. Jika sistem dalam keadaan seimbang maka tentukan gaya tekan normal yang bekerja di titik A dan B!

Penyelesaian

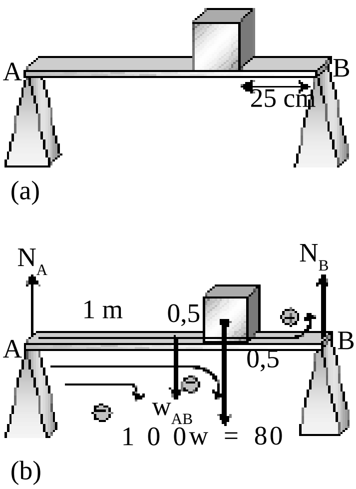
Untuk menentukan nilai N_A dan N_B dapat digunakan syarat persamaan 6.3. Karena keduanya belum diketahui, gunakan syarat $\Sigma\tau = 0$ terlebih dahulu.

Acuan titik A

Momen gaya yang bekerja dari titik A dapat digambarkan seperti pada *Gambar 6.6(b)*, dan berlaku syarat berikut.

$$\Sigma\tau_A = 0$$
$$(AB).\ N_B - (AO).\ w_{AB} - (AC)\ .\ w = 0$$
$$2\ .\ N_B - 1.\ 100 - 1{,}5\ .\ 80 = 0$$
$$2\ N_B = 220$$
$$N_B = 110\ N$$

Nilai N_A dapat ditentukan dengan syarat ΣF = 0 sehingga



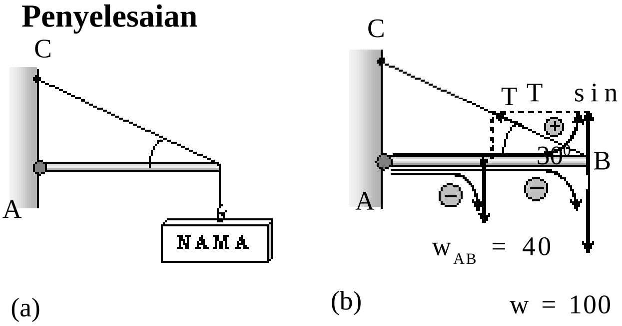
Gambar 6.6

diperoleh :

$$\Sigma F = 0$$
$$N_A + N_B - w_{AB} - w = 0$$
$$N_A + 110 - 100 - 80 = 0$$
$$N_A = 70 \text{ N}$$

2. Sebuah papan nama bermassa 10 kg digantung pada batang bermassa 4 kg seperti pada *Gambar 6.7(a)*. Agar sistem dalam keadaan seimbang maka berapakah tegangan minimum yang dapat ditarik oleh tali BC?

Penyelesaian



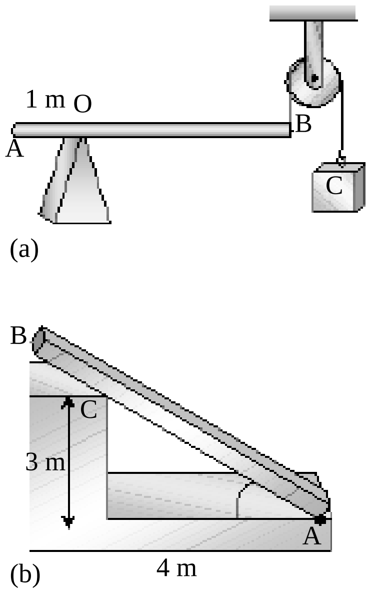
Gambar 6.7
Papan nama digantung

Tegangan T minimum adalah besar tegangan yang dapat menyebabkan sistem itu seimbang sesuai beratnya. Gaya dan momen gayanya dapat digambarkan seperti pada *Gambar 6.7(b)*. Nilai T dapat ditentukan dengan syarat $\Sigma\tau = 0$ di titik A.

$$\Sigma\tau_A = 0$$
$$(AB).T \sin 30^o - \frac{1}{2}(AB).w_{AB} - (AB).w = 0$$
$$\ell \,.\, T \,.\, \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\ell \,.\, 40 - \ell \,.\, 100 = 0$$
$$T - 40 - 200 = 0$$
$$T = 240 \text{ N}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Sebuah batang homogen bermassa m ditopang pada titik O dan diikat di ujung B seperti *Gambar 6.8(a)*. Panjang batang AB = 4 m. Jika untuk membuat batang AB mendatar dibutuhkan beban 200 N maka tentukan massa batang m?
2. Batang AB sepanjang 6 m ditopangkan pada tembok seperti *Gambar 6.8(b)*. Jika massa batang AB 10 kg dan seimbang maka tentukan gaya tekan normal di titik C!

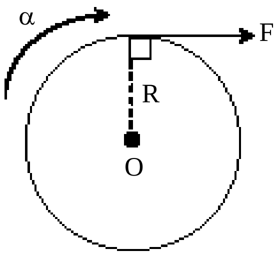


Gambar 6.8

2. Gerak Rotasi

Kalian sudah belajar tentang keadaan benda yang memiliki resultan momen gaya nol, yaitu bendanya akan setimbang rotasi. Bagaimana jika resultan tidak nol? Jawabannya harus kalian hubungkan hukum II Newton.

Pada hukum II Newton di kelas X, telah kalian pelajari untuk gerak translasi. Jika benda dipengaruhi gaya yang tidak nol maka benda itu akan mengalami percepatan. $\Sigma F = m\, a$.



Gambar 6.9
Momen gaya dapat menyebabkan gerak rotasi dipercepat.

Apabila hukum II Newton ini kalian terapkan pada gerak rotasi maka saat benda bekerja momen gaya yang tidak bekerja momen gaya yang tidak nol maka bendanya akan bergerak rotasi dipercepat. Perhatikan *Gambar 6.9*.

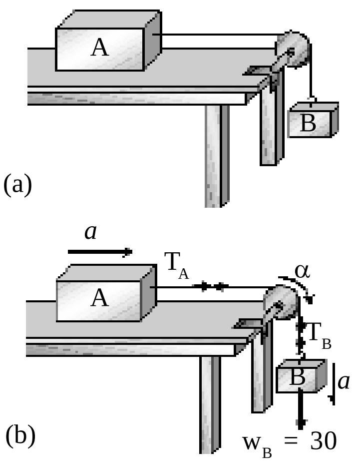
Dari penjelasan di atas dapat dibuat simpulan hukum II Newton pada gerak translasi dan rotasi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &\text{Gerak translasi} : \Sigma F = m\, a \\ &\text{Gerak rotasi} \quad : \Sigma \tau = I\, \alpha \end{aligned} \quad \text{...........} \quad (6.4)$$

Pahamilah persamaan di atas pada contoh berikut.

a. Sistem benda

Sistem benda adalah gabungan beberapa benda yang mengalami gerak secara bersama-sama. Pada sistem benda bab ini dapat merupakan gabungan gerak translasi dan rotasi. Contohnya adalah sistem katrol dengan massa tidak diabaikan. Perhatikan contoh berikut.



Gambar 6.10
(a) Sistem benda, (b) gaya-gaya yang bekerja.

CONTOH 6.4

Balok A 2 kg berada di atas meja licin dihubungkan tali dengan balok B 3 kg melalui katrol sehingga dapat menggantung seperti pada *Gambar 6.10(a)*. Jika massa katrol sebesar 2 kg dan jari-jari 10 cm maka tentukan :

a. percepatan benda A dan B,
b. percepatan sudut katrol,
c. tegangan tali T_A dan T_B!

Penyelesaian

m_A = 2 kg
m_B = 3 kg → w_B = 30 N
m_k = 2 kg → k = $\frac{1}{2}$

a. Percepatan balok A dan B

Balok A dan B akan bergerak lurus dan katrol berotasi sehingga dapat ditentukan percepatannya dengan bantuan gambar gaya-gaya seperti pada *Gambar 6.10(b)*.

- Balok A : translasi

$\Sigma F = m\,a$
$T_A = m_A\,a = 2\,a$ ....(a)

- Balok B : translasi

$\Sigma F = m\,a$

$30 - T_B = 3a$
$T_B = 30 - 3a$ ....(b)

- Katrol : berotasi

$\Sigma\tau = I\,\alpha$

$(T_B - T_A)\,R = k\,m_k\,R^2 \cdot \frac{a}{R}$

$T_B - T_A = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot a$

Substitusi T_A dan T_B dapat diperoleh:

$(30 - 3a) - (2a) = a$

$30 = 6a \rightarrow a = 5\ \text{m/s}^2$

b. Percepatan sudut katrol sebesar:

$\alpha = \frac{a}{R}$

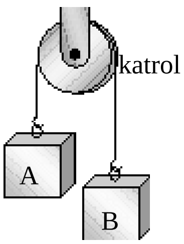
$= \frac{5}{0,1} = 50\ \text{rad/s}^2$

c. Tegangan talinya:

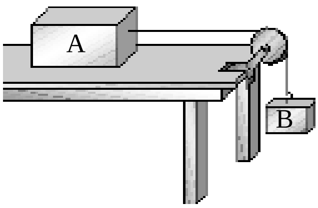
$T_A = 2a = 2 \cdot 5 = 10$ N
$T_B = 30 - 3a = 30 - 3 \cdot 5 = 15$ N

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada sistem katrol diketahui m_A = 4 kg m_B = 2 kg dan massa katrol 3 kg. Jari-jari katrol 5 cm dan g = 10 m/s^2. Tentukan percepatan sistem, percepatan sudut katrol dan tegangan talinya jika sistem bendanya seperti pada gambar.



(a)

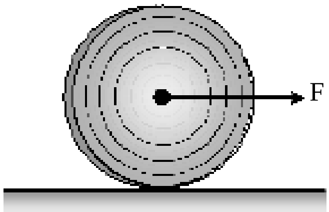


(b)

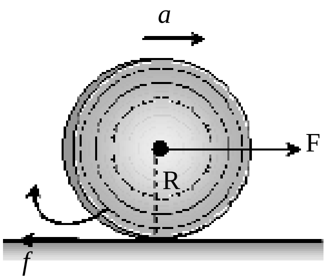
b. Menggelinding

Kalian tentu sudah mengenal kata menggelinding, bahkan mungkin pernah jatuh dan menggelinding. Benda menggelinding adalah benda yang mengalami dua gerak langsung yaitu translasi dan rotasi. Contohnya seperti gerak roda sepeda, motor atau mobil yang berjalan. Selain berotasi roda juga bergerak translasi (lurus).

Pada gerak yang menggelinding akan berlaku kedua syarat secara bersamaan dari persamaan 6.4. Coba cermati contoh berikut.



(a)



(b)

Gambar 6.11
(a) Silinder menggelinding dan (b) gaya-gaya yang bekerja.

CONTOH 6.5

Sebuah silinder pejal bermassa 2 kg dan jari-jari 20 cm berada di atas lantai datar. Silinder ditarik gaya F = 12 N melalui porosnya sehingga dapat menggelinding seperti pada *Gambar 6.11(a)*. Tentukan:

a. percepatan silinder,
b. percepatan sudut silinder!

Penyelesaian

m = 2 kg
R = 20 cm = 0,2 m
F = 12 N
k = $\frac{1}{2}$ (silinder pejal)

a. Percepatan silinder
Perhatikan gaya-gaya yang bekerja pada silinder *Gambar 6.11(b)*. Silinder mengalami dua gerakan.

- Rotasi:

$$\Sigma\tau = I\,\alpha$$

$$f \,.\, R = \tfrac{1}{2}\, m\, R^2 \frac{a}{R}$$

$$f = \tfrac{1}{2} \,.\, a$$

$$f = a$$

- Translasi:

$$\Sigma F = m\,a$$

$$F - f = m\,a$$

$$12 - a = 2a$$

$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

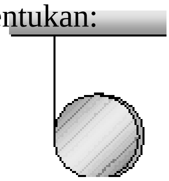
b. Percepatan sudut silinder memenuhi:

$$\alpha = \frac{a}{R} = \frac{4}{0,2} = 20 \text{ rad/s}^2$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah tali dililitkan pada yoyo kemudian digantung seperti gambar. Jika gaya yang dilepaskan maka akan bergerak yang sama dengan gerak melingkar. Massa yoyo 200 gr dan jari-jari 15 cm. Tentukan:

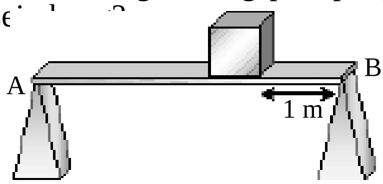
a. percepatan yoyo,
b. percepatan sudut yoyo,
c. tegangan tali!



ATIHAN 6.2

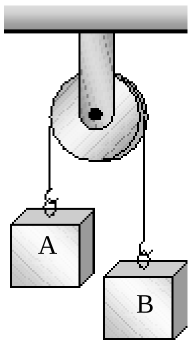
1. Seseorang akan memikul dua beban berbeda m_A = 30 kg dan m_B = 50 kg. Kedua beban itu diikatkan pada ujung-ujung batang tak bermassa yang panjangnya 2 m. Berapakah jarak pundak pemikul dengan beban mA akan dalam keadaan seimbang?

2. Batang AB panjangnya 3 m dan massanya 10 kg. Kedua ujungnya diberi penopang seperti gambar. Jarak 1 m dari ujung A diberi beban dengan massa 60 kg. Hitunglah berapa gaya tekan normal yang diberikan oleh masing-masing penopang agar se[illegible]?

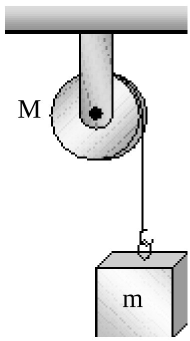


3. Tangga yang panjangnya 5 m dan beratnya 100 N disandarkan pada dinding yang licin. Batang bisa seimbang miring dengan ujung bawah berjarak 3 m dari dinding. Tentukan koefisien gesek statis lantai tersebut!

4. Dua balok m_A = 2 kg dan m_B = 5 kg dihubungkan dengan tali dan melalui katrol bermassa 1 kg seperti pada gambar. Tentukan:
   a. percepatan sudut katrol jika jari-jarinya 5 cm,
   b. tegangan tali!



5. Balok bermassa m = 4 kg diikat pada ujung tali, sedangkan ujung tali yang lain dililitkan pada katrol berjari-jari 10 cm dan bermassa M = 2 kg. Tentukan percepatan yang dialami balok!



6. Roda bermassa 3 kg dan berjari-jari 20 cm menggelinding di atas bidang miring yang memiliki sudut kemiringan 30^{O}. Berapakah percepatan dan percepatan sudut roda tersebut?

C. Energi dan Momentum Sudut

1. Energi Gerak Rotasi

Sebuah benda yang bergerak rotasi juga memiliki energi kinetik dan dinamakan energi kinetik rotasi. Analog dengan energi kinetik translasi, energi kinetik rotasi dipengaruhi oleh besaran-besaran yang sama dengan massa yaitu I dan analog dengan kecepatan linier yaitu kecepatan anguler ω. Perhatikan persamaan berikut.

Translasi : $E_{kT} = \frac{1}{2} m v^2$

Rotasi : $E_{kR} = \frac{1}{2} I \omega^2$ .... (6.5)

Menggelinding : $E_{kToT} = E_{kt} + E_{kR}$

$E_{kToT} = (1 + k)\ \frac{1}{2}\ m\, v^2$

CONTOH 6.6

Sebuah balok bermassa memiliki massa 600 gr dan jari-jari 5 cm. Bola tersebut menggelinding dengan kecepatan linier 10 m/s. Tentukan energi kinetik total bola tersebut!

Penyelesaian

m = 600 gr = 0,6 kg

R = 5 cm = 5.10^{-2} m

v = 10 m/s

Momen inersia:

$$I = \frac{2}{3}\, m R^2$$

$$= \frac{2}{3} .\ 0{,}6.\ (5.10^{-2})^2 = 10^{-3}\ \text{kgm}^2$$

Kecepatan sudut:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{10}{5.10^{-2}} = 200\ \text{rad/s}$$

Berarti energi mekanik totalnya sebesar:

$$E_{kToT} = E_{kT} + E_{kR}$$

$$= \frac{1}{2}\, m\, v^2 + \frac{1}{2}\, I\, \omega^2$$

$$= \frac{1}{2} .\ 0{,}6 .\ 10^2 + \frac{1}{2} .\ 10^{-3}\ (200)^2 = 50\text{joule}$$

Metode lain:

Energi kinetik benda menggelinding memenuhi:

$$E_{kToT} = (1 + k)\frac{1}{2}mv^2$$

$$= \left(1+\frac{2}{3}\right)\frac{1}{2} . 0,6 . 10^2 = 50 \text{ joule}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Roda yang berupa silinder pejal massanya 3 kg dan jari-jari 20 cm. Roda tersebut menggelinding dengan kecepatan sudut 100 rad/s. Tentukan energi kinetik total gerak roda tersebut!

2. Momentum Sudut

Kalian sudah banyak mempelajari besaran-besaran yang analog antara besaran linier (gerak translasi) dengan besaran sudut (gerak rotasi). Analogi ini juga berlaku pada momentum. Pada gerak translasi benda memiliki momentum linier sedangkan pada gerak rotasi ada momentum sudut. Definisinya dapat dilihat pada persamaan berikut.

Linier : $p = m\,v$

Sudut : $L = I\,\omega$ .... (6.7)

Penting

Kecepatan sudut ω dapat memiliki banyak satuan, seperti :
rpm = rotasi permenit
1 rpm = 1 put/menit
= $\frac{2ô}{θ}$ rad/s

CONTOH 6.7

Sebuah bola pejal bermassa 0,5 kg dan jari-jari 20 cm berotasi dengan kecepatan sudut 15 rad/s. Berapakah momentum sudut bola tersebut?

Penyelesaian

m = 0,5 kg, R = 0,2 m
ω = 15 rad/s
bola pejal : $k = \frac{2}{5}$
Momentum sudut bola sebesar :
$L = I\,\omega$
$= (\frac{2}{5} mR^2).\omega$

$= \frac{2}{5} \cdot 0{,}5 \cdot (0{,}2)^2 \cdot 15$

$= 0{,}12 \text{ kg m}^2/\text{s}$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Silinder pejal berongga 0,4 kg dan jari-jari R = 25 cm dirotasikan hingga mencapai kecepatan sudut 20 m/s. Tentukan sudut silinder tersebut!

Kekekalan momentum sudut

Momentum sudut memiliki hubungan dengan momen gaya. Masih ingat impuls dan momentum linier. Hubungan itu juga berlaku pada gerak rotasi. Hubungannya menjadi :

$$\tau \, \Delta t = \Delta L$$

$$\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Perumusan ini dapat memenuhi hubungan deferensial juga.

$$\tau = \frac{dL}{dt}$$

Masih ingat kekekalan momentum pada bab sebelum ini? Tentu masih ingat. Jika benda yang bergerak tidak bekerja gaya (impuls) maka momentumnya akan kekal. Konsep ini juga berlaku pada gerak rotasi. Perhatikan penjelasan berikut!

Jika pada benda yang berotasi tidak bekerja momen gaya ($\Sigma\tau = 0$) maka pada gerak benda itu akan terjadi kekekalan momentum sudut.

$\tau = \frac{dL}{dt} = 0$ berarti L = konstan, jadi berlaku :

$$L_{awal} = L_{akhir} \qquad \text{.....................................} \quad (6.8)$$

CONTOH 6.7

Silinder A bermassa 2 kg sedang berotasi dengan kecepatan sudut 60 rad/s. Kemudian ada silinder B yang berjari-jari sama dan massa 3 kg digabungkan pada silinder A dengan poros sama. Tentukan kecepatan sudut gabungan silinder tersebut!

Penyelesaian

$m_A = 2$ kg, $R_A = R$, $\omega_A = 60$ rad/s

$m_B = 3$ kg, $R_B = R$, $\omega_B = 0$

ω'?

Roda penggabungan silinder tersebut berlaku hukum kekekalan momentum sudut.

$$L_{awal} = L_{akhir}$$

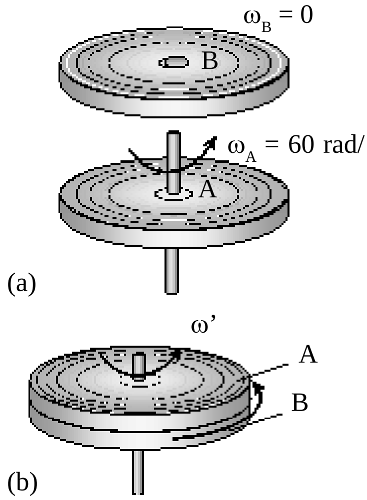
$$I_A v_A + I_B \omega_B = (I_A + I_B)\,\omega'$$

$$\tfrac{1}{2} m_A R^2 \omega_A + \tfrac{1}{2} m_B R^2 \omega_B = (\tfrac{1}{2} m_A R^2 + \tfrac{1}{2} m_B R^2)\omega'$$

$$(\tfrac{1}{2} . 2 . 60) + \tfrac{1}{2} . 3 . 0 = (\tfrac{1}{2} . 2 + \tfrac{1}{2} . 3)\,\omega'$$

$$60 = 2{,}5\,\omega'$$

$$\omega' = 24 \text{ rad/s}$$



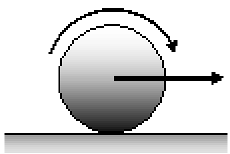
Gambar 6.12
(a) Sebelum digabung
(b) setelah digabung

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua piringan berjari-jari sama memiliki massa masing-masing: $m_A = 0{,}8$ kg dan $m_B = 1{,}6$ kg. Pada awalnya kedua piringan berputar dengan kecepatan sudut $\omega_A = 32$ rpm dan $\omega_B = 8$ rpm. Jika kedua piringan digabungkan sepusat maka tentukan kecepatan sudutnya setelah digabung!

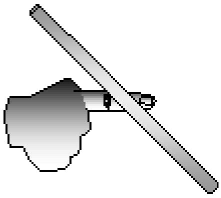
ATIHAN 6.3

1. Sebuah batang homogen bermassa 300 gr dan panjang 25 cm dapat bergerak rotasi arah mendatar pada salah satu ujungnya seperti gambar. Jika batang memiliki kecepatan sudut 4π rad/s maka berapakah besar energi kinetik rotasi batang? (gunakan $\pi^2 = 10$)
2. Sebuah bola kayu pejal dengan berat 150 N dan berjari-jari 0,2 m, bergerak lurus pada kelajuan 10 m/s sambil berputar. Jika tidak terjadi slip maka tentukan energi kinetik total bola tersebut!



3. Sebuah roda dengan massa 15 kg dan jari-jari 0,5 m menggelinding di atas bidang miring yang membentuk sudut 30^o terhadap bidang horisontal. Roda tersebut dilepas dari keadaan diamnya pada ketinggian 5 meter diukur dari bidang horisontal. Berapakah kecepatan linier roda tersebut sewaktu mencapai titik yang ketinggiannya 1 m dari bidang horisontal?
4. Sebuah silinder pejal bermassa 400 gr dan jari-jari 10 cm, diputar pada sumbu yang melalui pusat bola dengan kecepatan sudut 120 rpm. Tentukan momentum sudut silinder!
5. Sebuah cakram yang bebas berputar terhadap sumbu yang vertikal mampu berputar dengan kecepatan 80 putaran per menit. Jika sebuah benda kecil bermassa 4.10^{-2} kg ditempelkan pada cakram berjarak 5 cm dari poros ternyata putarannya menjadi 60 putaran per menit maka tentukan momen inersia cakram!
6. Dua piringan berjari-jari sama memiliki massa masing-masing : $m_A = 0{,}2$ kg dan $m_B = 0{,}4$ kg. Mula-mula kedua piringan berputar dengan kecepatan sudut masing-masing $\omega_A = 2\omega$ dan $\omega_B = \omega$. Jika kedua piringan digabungkan sepusat maka berapakah energi yang hilang?

D. Titik Berat



Gambar 6.13
Titik berat batangan homogen ada di tengah.

Pernahkah kalian meletakkan pensil atau penggaris di atas jari-jari seperti pada *Gambar 6.13*? Cobalah sekarang. Dimanakah letaknya agar bisa seimbang? Tentu kalian bisa memperkirakan bahwa tempatnya ada di tengah-tengahnya. Titik tepat di atas jari-jari kalian itulah yang merupakan titik berat batang pensil atau penggaris. Berarti apakah titik berat itu? Dengan memperhatikan contoh itu maka titik berat dapat didefinisikan *sebagai titik tempat keseimbangan gaya berat*.

Dari definisi di atas maka letak titik berat dapat ditentukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Bangun dan bidang simetris homogen

Untuk bangun atau bidang simetris dan homogen titik beratnya berada pada titik perpotongan sumbu simetrinya. Contohnya : bujur sangkar, balok kubus dan bola.

b. Bangun atau bidang lancip

Untung benda ini titik beratnya dapat ditentukan dengan digantung benang beberapa kali, titik potong garis-garis benang (garis berat) itulah yang merupakan titik beratnya. Dari hasil tersebut ternyata dapat diketahui kesamaannya seperti berikut.

Untuk bidang lancip $y_0 = \frac{1}{3}h$

Untuk bangun lancip $y_0 = \frac{1}{4}h$ .... (6.9)

c. Bagian bola dan lingkaran

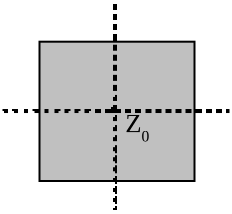
Untuk bagian bola yaitu setengah bola pejal dan bagian lingkaran yaitu setengah lingkaran dapat kalian lihat pada *Gambar 6.14(d)* dan *(e)*.

d. Gabungan benda

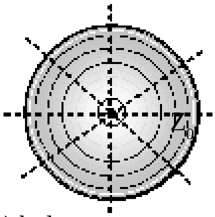
Untuk gabungan benda-benda homogen, letak titik beratnya dapat ditentukan dari rata-rata jaraknya terhadap acuan yang ditanyakan. Rata-rata tersebut ditentukan dari momen gaya dan gaya berat.

$$x_0 = \frac{\Sigma xw}{\Sigma w}$$

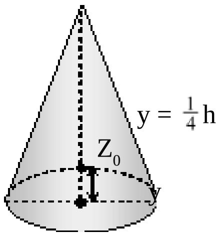
$$y_0 = \frac{\Sigma yw}{\Sigma w} \qquad \text{.................................... (6.10)}$$



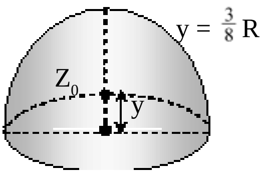
(a) bujur sangkar



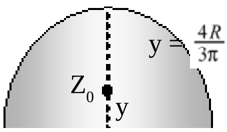
(b) bola



(c) kerucut



(d) setengah bola pejal



(d) setengah bola pejal

Gambar 6.14
Titik berat beberapa benda

Perhatikan nilai w pada persamaan 6.13. Nilai w tersebut dapat diubah-ubah sesuai besaran yang diketahui diantaranya seperti berikut.

(1) w = mg, g sama berarti w dapat diganti dengan massa benda. Dari alasan inilah titik berat disebut juga titik pusat massa.

$$x_0 = \frac{\Sigma yM}{\Sigma M}$$

$$\text{dan} \quad y_0 = \frac{\Sigma ym}{\Sigma m} \qquad \text{.......................(6.14)}$$

(2) Untuk benda homogen berarti massa jenis sama (ρ sama) dan m = ρ *v* berarti massa dapat diganti dengan volumenya.

$$x_0 = \frac{\Sigma xV}{\Sigma V}$$

$$\text{dan} \quad y_0 = \frac{\Sigma yV}{\Sigma V} \qquad \text{.......................(6.15)}$$

CONTOH 6.8

Kerucut pejal dan silinder pejal dari bahan yang sama dan homogen digabungkan menjadi benda seperti Gambar 6.15(a). Tentukan koordinat titik berat benda terhadap titik A!

Penyelesaian

Benda memiliki sumbu simetri di x = 20 cm berarti x_o = 20 cm. Untuk menentukan y_o, benda dapat dibagi dua seperti berikut.

Benda I (silinder pejal) :

$Z_1 = (20, 10) \rightarrow V_1 = \pi R^2 . t$

$= \pi . 20^2 . 20 = 8000\, \pi \text{ cm}^3$

Benda II (kerucut pejal) :

$Z_2 = (20, 30) \rightarrow V_2 = \frac{1}{3} \pi . R^2 . h$

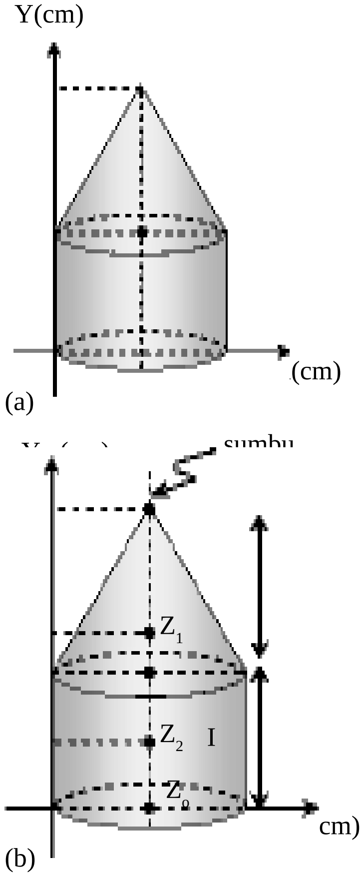
$= \frac{1}{3} \pi . 20^2 . 40 = \frac{16000}{3} \pi \text{ cm}^3$

Berarti y_o memenuhi :

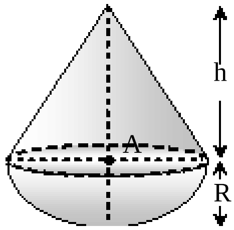
$$y_o = \frac{\Sigma yV}{\Sigma V}$$

$$= \frac{10.800\pi + 30 . \frac{16000}{3}\pi}{8000\pi + \frac{16000}{3}\pi} = 18 \text{ cm}$$

Jadi Z_o = (20, 18) cm



Gambar 6.15



Gambar 6.16

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Gambar 6.16 adalah gambar sistem benda gabungan yang terdiri dari : bagian bawah setengah bola pejal dan bagian atas kerucut pejal. Tentukan nilai *h* dalam R agar gabungan benda tersebut dapat seimbang indeferent!

(3) Benda yang letaknya sama, V = A t. Berarti V dapat diganti A (luas).

$$x_0 = \frac{\Sigma xA}{\Sigma A} \quad \text{dan} \quad y_0 = \frac{\Sigma yA}{\Sigma A} \qquad \text{.......................... (6.16)}$$

CONTOH 6.9

Sebuah karton homogen berbentuk L ditempatkan pada sistem koordinat seperti *Gambar 6.17(a)*. Tentukan titik berat karton tersebut!

Penyelesaian

Untuk menentukan titik beratnya, karton bentuk L tersebut dapat dianggap sebagai dua benda seperti *Gambar 6.17(a)*.

Benda I : Z_1 (20, 10) $\rightarrow A_1$ = 40.20 = 800 cm^2

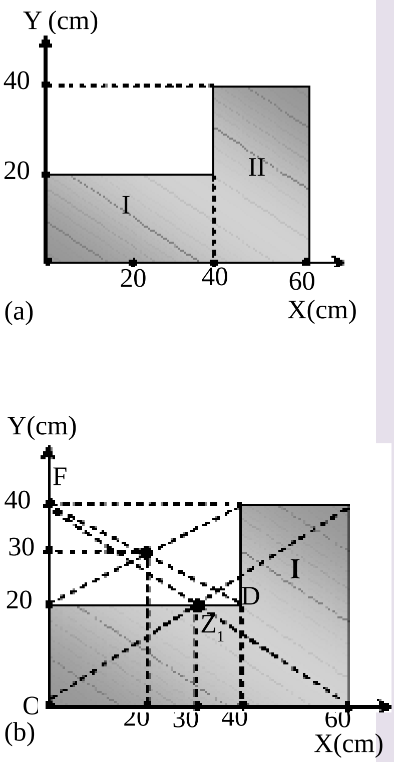
Benda II : Z_2 (50, 20) $\rightarrow A_2$ = 20.40 = 800 cm^2

Titik berat benda memenuhi:

$$x_o = \frac{\Sigma xA}{\Sigma A} = \frac{20.800 + 50.800}{800 + 800} = 35 \text{ cm}$$

$$y_o = \frac{\Sigma yA}{\Sigma A} = \frac{10.800 + 20.800}{800 + 800} = 15 \text{ cm}$$

berarti Z_o = (35, 15) cm



Gambar 6.17

Metode lain

Karton L dapat dianggap sebagai benda persegi panjang yang dilubangi, lihat *Gambar 6.17(b)*.

Benda I : bidang OABF

Z_1 (30, 20) $\rightarrow A_1$ = 60 x 40 = 2400 cm^2

Benda II : bidang CDEF

$Z_2\,(20, 30) \rightarrow A_2 = 40 \times 20 = -800\ \text{cm}^2$

Titik beratnya memenuhi :

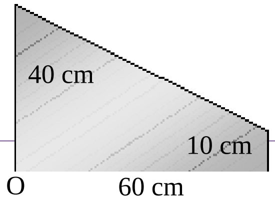
$$x_o = \frac{\Sigma\, xA}{\Sigma\, A} = \frac{30.2400 + 20(-800)}{2400 - 800} = 35\ \text{cm}$$

$$y_o = \frac{\Sigma\, yA}{\Sigma\, A} = \frac{24.2400 + 20(-800)}{2400 - 800} = 15\ \text{cm}$$

$Z_o = (35, 15)$ cm

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perhatikan bidang di bawah. Tentukan titik berat bidang dihitung dari titik O!



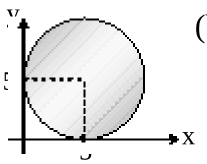
(4) Benda yang lebarnya sama, A = p . ℓ. p sama berarti A dapat diganti ℓ.

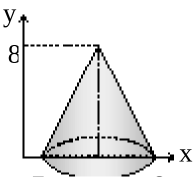
$$x_0 = \frac{\Sigma\, x\ell}{\Sigma\, \ell}$$

an $y_0 = \dfrac{\Sigma\, y\ell}{\Sigma\, \ell}$ .... (6.17)

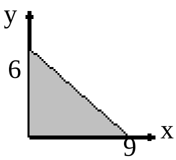
ATIHAN 6.4

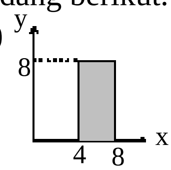
1. Tentukan titik berat bangun-bangun berikut.

   (a) 

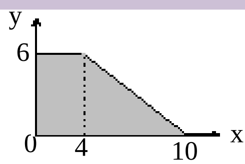
   (b) 

2. Tentukan titik berat bidang berikut.

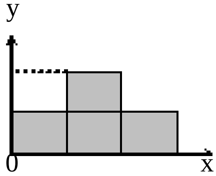
   (a) 

   (b) 

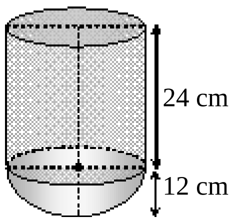
3. Bidang persegi panjang dipotong sehingga terlihat seperti gambar. Tentukan titik beratnya dari titik O.



4. Empat bujur sangkar ukuran 4 cm x 4 cm dipasang seperti gambar. Tentukan titik berat-nya.



5. Silinder dan setengah bola pejal digabung seperti gambar di bawah. Tentukan letak titik berat dari alasnya.



Rangkuman Bab 6

1. Momen gaya didefinisikan sebagai perkalian gaya dan lengan yang tegak lurus : $\tau = d\ F \sin \alpha$.
2. Momen inersia benda putar memenuhi:
   a. sistem partikel : $I = \Sigma\ m\ R^2$
   b. benda tegar : $I = k\ m\ R^2$
3. Benda yang seimbang memenuhi syarat:
   a. seimbang translasi : $\Sigma F = 0$
   b. seimbang rotasi : $\Sigma\tau = 0$
4. Benda yang bergerak dipercepat memenuhi:
   a. translasi : $\Sigma F = m\ a$
   b. rotasi : $\Sigma\tau = I\ \alpha$
5. Energi kinetik benda:
   a. translasi : $Ek_T = \frac{1}{2}\ m\ v^2$
   b. rotasi : $Ek_R = \frac{1}{2}\ I\ \omega^2$
   c. menggelinding : $Ek_{tot} = (1 + k)\ \frac{1}{2}\ mv^2$
6. Momentum benda yang bergerak:
   a. translasi : $p = m\ v$
   b. rotasi : $L = I\ \omega$

   Jika pada gerak rotasi suatu benda tidak dipengaruhi momen gaya luar maka momentum sudut benda itu kekal. $\tau = \frac{dL}{dt}$.
   Jika $\tau = 0 \rightarrow$ L kekal.
7. Titik berat adalah titik keseimbangan berat benda

   Titik berat benda terletak pada sumbu simetri, simetri berat, simetris massa, simetri volume, simetri luas atau simetri panjang.

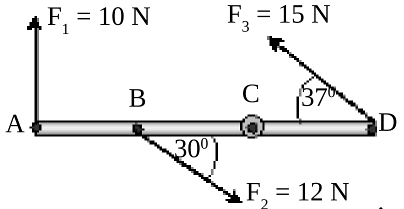
$$x_0 = \frac{\Sigma\, xW}{\Sigma W} = \frac{\Sigma\, xm}{\Sigma m} = \frac{\Sigma\, xV}{\Sigma V} = \frac{\Sigma\, xA}{\Sigma A} = \frac{\Sigma\, x\ell}{\Sigma \ell}$$

$$y_0 = \frac{\Sigma\, yW}{\Sigma W} = \frac{\Sigma\, ym}{\Sigma m} = \frac{\Sigma\, yV}{\Sigma V} = \frac{\Sigma\, yA}{\Sigma A} = \frac{\Sigma\, y\ell}{\Sigma \ell}$$

Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Batang AD ringan panjangnya 1,5 m. Batang bisa berputar di titik C dan diberi tiga gaya seperti gambar. AB = 0,5 m dan CD = 0,5 m. Torsi yang bekerja pada batang terhadap titik C adalah ....

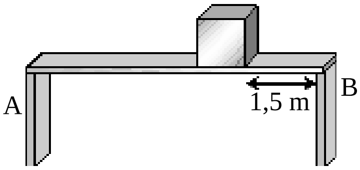


   A. 17,5 Nm berputar searah jarum jam
   B. 17,5 Nm berputar berlawanan arah jarum jam
   C. 2,5 Nm berputar searah jarum jam
   D. 2,5 Nm berputar berlawanan arah jarum jam
   E. 3,5 Nm berputar searah jarum jam

2. Bola pejal bermassa 2,5 kg dan jari-jari 0,12m menggelinding pada lantai mendatar bersamaan dengan cincin yang bermassa 1 kg dan jari-jari 0,12 m. Perbandingan momen inersia bola pejal dan cincin sebesar ....
   A. 5 : 2
   B. 2 : 1
   C. 1 : 1
   D. 2 : 5
   E. 1 : 2

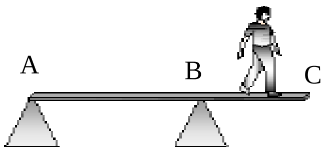
3. Kedua roda depan dan sumbu kedua roda belakang sebuah truk yang bermassa 1500 kg, berjarak 2 m. Pusat massa truk 1,5 m di belakang roda muka. Diandaikan bahwa percepatan gravitasi bumi adalah 10 m/s^2. Beban yang dipikul oleh kedua roda muka truk itu sama dengan ....
   A. 1250 N
   B. 2500 N
   C. 3750 N
   D. 5000 N
   E. 6250 N

4. Beban bermassa 20 kg ditempatkan pada jarak 1,5 m dari kaki B (lihat gambar) pada sebuah meja datar bermassa 100 kg yang panjangnya 6 m. Gaya yang bekerja pada kaki A untuk menahan beban dan meja adalah ....



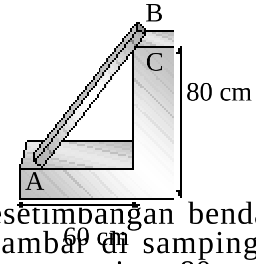
   A. 20 N
   B. 16 N
   C. 14 N
   D. 8 N
   E. 7 N

5. AC bermassa 40 kg dan panjangnya 3 m. Jarak tumpuan A dan B adalah 2 m (di B papan dapat berputar). Seorang anak (massa 25 kg) berjalan dari A menuju ke C. Berapa jarak minimum anak dari titik C agar papan tetap setimbang (ujung batang A hampir terangkat ke atas)



   A. Nol
   B. 0,1 m
   C. 0,2 m
   D. 0,3 m
   E. 0,4 m

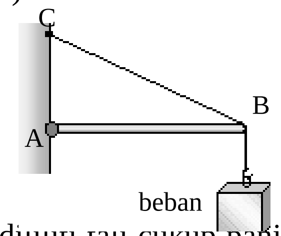
6. Batang homogen AB bermassa 5 kg dan panjang 120 cm disandarkan pada anak tangga di titik C tanpa gesekan seperti gambar. Jika pada keadaan tersebut batang tepat akan tergelincir maka gaya normal pada titik C adalah ....



   A. 25 N
   B. 45 N
   C. 60 N
   D. 100 N
   E. 150 N

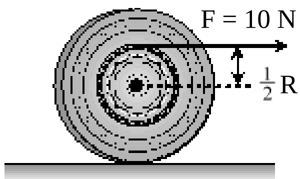
7. Pada sistem kesetimbangan benda tegar seperti gambar di samping, AB batang homogen panjang 80 cm, beratnya 18 N,

8. Berat beban = 30 N, BC adalah tali. Jika jarak AC = 60 cm, tegangan pada tali (dalam newton):



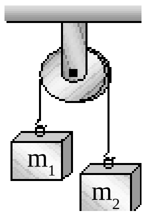
A. 36
B. 48
C. 50
D. 65
E. 80

9. Sebuah yoyo dililiti tali cukup panjang dan ditarik oleh gaya F = 10 N seperti gambar. Massa yoyo 2,5 kg dan jari-jari R = 10 cm. Percepatan linier pusat massa yoyo adalah ....



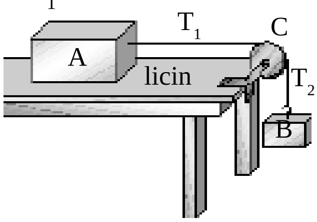
A. 10 m/s^2
B. 7,5 m/s^2
C. 5,0 m/s^2
D. 4,0 m/s^2
E. 2,5 m/s^2

10. Sistem katrol dengan dua buah benda m_1 = 2 kg dan m_2 = 6 kg dihubungkan katrol bermassa 4 kg seperti pada gambar. Percepatan yang dialami benda m_1 dan m_2 adalah ....



A. 10 m/s^2
B. 5 m/s^2
C. 4 m/s^2
D. 2,5 m/s^2
E. 2 m/s^2

11. Pada gambar di samping, massa balok A, beban B dan roda katrol berongga C masing-masing adalah 7 kg, 2 kg dan 1 kg. Percepatan gravitasi = 10 m/s^2. Tegangan tali T_1 adalah ...



A. 20 N
B. 16 N
C. 14 N
D. 8 N
E. 7 N

12. Silinder pejal dan roda yang memiliki massa dan jari – jari sama masing-masing 4 kg dan 50 cm. Kedua benda menggelinding dengan kecepatan yang sama pula yaitu 5 m/s. Perbandingan energi kinetik silinder dan roda adalah ….

B. 3 : 4
C. 4 : 3
E. 14 : 15

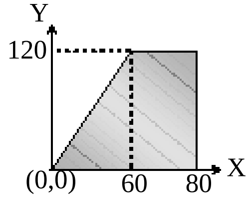
13. Dari puncak bidang miring yang tingginya 6 m dari lantai dan kemiringan 37^0 dilepaskan sebuah silinder pejal sehingga menggelinding dengan kecepatan awal 2 m/s. Silinder yang bermassa 1,5 kg dan berjari-jari 25 cm dapat menggelinding sempurna. Kecepatan pusat massa silinder saat sampai di lantai sebesar ....

A. 5 m/s
B. 8 m/s
C. 10 m/s
D. 20 m/s
E. 35 m/s

14. Seorang anak laki-laki berdiri di atas papan yang dapat berputar bebas. Saat kedua lengannya terentang, kecepatan sudutnya 0,25 putaran/detik. Tetapi saat kedua lengan tertekuk kecepatannya menjadi 0,8 putaran/ detik, maka perbandingan momen inersia anak waktu kedua tangan terentang dengan sesudah menekuk adalah ....

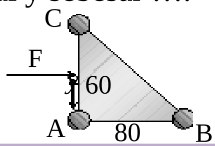
A. 3 : 1
B. 1 : 3
C. 1 : 2
D. 5 : 16
E. 16 : 5

15. Bidang persegi diiris sehingga seperti bidang pada gambar. Koordinat titik berat bidang tersebut adalah ....



A. (40, 60)
B. (65, 60)
C. (60, 40)
D. (52, 48)
E. (48, 52)

16. Tiga buah benda dihubungkan batang yang massanya dapat diabaikan seperti gambar. m_A = 2 kg, m_B = 3 kg dan m_C = 2,5 kg. AB = 80 cm dan AC = 60 cm. Jika sistem didorong gaya F dan bergerak translasi tanpa rotasi maka nilai y sebesar ….



A. 60 cm
B. 20 cm
C. 30 cm
D. 40 cm

BAB

7

FLUIDA



Sumber: www.google.co.id

Perhatikan gambar di atas. Air di bendungan dapat menjebol tanggulnya. Contoh lain lagi yang perlu kalian perhatikan adalah pesawat yang bisa terbang. Mengapa air bisa menjebol tanggul, pesawat bisa terbang dan lagi kapal bisa terapung di air?

Persoalan-persoalan di atas itulah yang dapat kalian pelajari pada bab fluida ini. Semua itu berkaitan dengan fluida. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

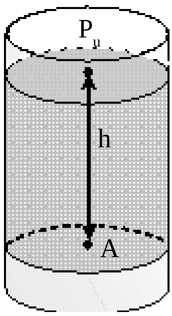
1. menentukan tekanan hidrostatis oleh fluida diam,
2. menentukan gaya Archimedes atau gaya tekan ke atas yang bekerja pada benda dalam fluida,
3. menentukan debit suatu fluida,
4. menerapkan azas Bernoulli dalam kehidupan sehari-hari.

A. Fluida Statis

Sudah tahukah kalian dengan apa yang dinamakan fluida? Fluida adalah zat yang bisa mengalir. Contohnya adalah zat cair dan zat gas. Sedangkan statis artinya diam. Berarti fluida statis mempelajari tentang sifat-sifat fluida (zat alir) yang diam. Besaran-besaran yang dimiliki oleh fluida statis dapat kalian cermati penjelasan berikut.

1. Tekanan Hidrostatis

Coba lihat kembali gambar pada halaman judul bab ini. Mengapa air yang diam di waduk dapat menjebol tanggulnya? Jawabannya adalah karena fluida statis memiliki tekanan hidrostatis. Untuk mengetahui tekanan hidrostatis itu dapat dilihat pada *Gambar 7.1*. Sebuah bejana berisi air yang diam. Mengapa di titik A ada tekanan hidrostatis. Sesuai definisinya, tekanan adalah besarnya gaya persatuan luas maka di titik A terasa ada tekanan karena ada gaya berat dari air di atasnya.



Gambar 7.1
Air dalam bejana

Berarti tekanan hidrostatis di titik A dapat ditentukan sebagai berikut.

$$P_n = \frac{W}{A}$$

$$P_n = \frac{(\rho A h)g}{A}$$

$$P_n = \rho g h \qquad \text{.................................(7.1)}$$

dengan : P_n = tekanan hidrostatis (Pa)
ρ = massa jenis fluida (kgm^2)
h = kedalaman fluida (m)
g = 10 m/s^2, percepatan gravitasi

Penting

Dalam sistem internasional satuan tekanan adalah Pa (Pascal)
1Pa = 1 N/m^2
dalam kehidupan sehari-hari satuan tekanan ada bermacam-macam contohnya seperti atm dan Cm/Hg
1 atm = 76 cmHg
1 atm = 10^5 Pa

Kemudian yang perlu diperhatikan berikutnya adalah pada titik A itu dipengaruhi oleh dua tekanan yaitu tekanan hidrostatis dan tekanan udara, dan berlaku hubungan berikut.

$$P_A = P_h + P_u \qquad \text{..(7.2)}$$

Persamaan 7.2 ini dinamakan persamaan tekanan mutlak titik A

Persamaan 7.1 tentang tekanan hidrostatis itu dapat ditentukan juga melalui eksperimen. Coba kalian buktikan dengan cara melakukan kegiatan 7.1.

Kegiatan 7.1

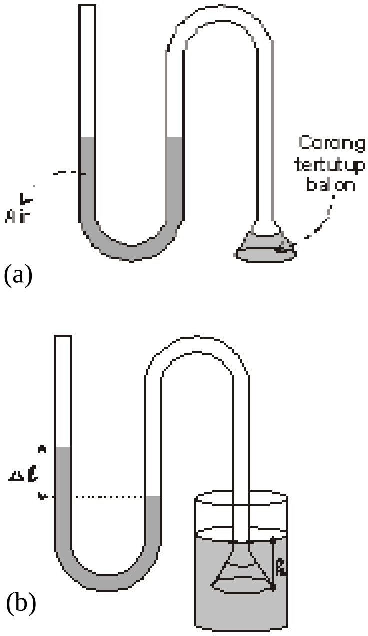
Tekanan Hidrostatis

Tujuan : Menentukan hubungan tekanan hidrostatis dengan kedalaman air.

Alat dan bahan : Selang plastik, gelas, penggaris, corong, balon dan air.

Kegiatan :

1. Pasang corong pada selang plastik dan tutuplah dengan balon. Kemudian isilah selang sedikit air dan buatlah membentuk huruf U seperti pada *Gambar 7.2 (a)*.
2. Aturlah agar air dalam selang memiliki ketinggian sama.
3. Masukkan corong ke dalam air sedalam h, kemudian amati perbedaan permukaan air pada selang U. Ukurlah $\Delta\ell$. Nilai $\Delta\ell$ ini dapat digunakan sebagai pengukur tekanan P ~ $\Delta\ell$.
4. Ubah-ubahlah kedalaman selang h. Ambil beberapa kali.



Gambar 7.2

Tugas

1. Catat semua data pada tabel
2. Buatlah grafik hubungan P($\Delta\ell$) dengan h.

CONTOH 7.1

Dalam sebuah bejana diisi air (ρ = 100 kg/m^2). Ketinggian airnya adalah 85 cm. Jika g = 10 m/s^2 dan tekanan udara 1 atm maka tentukan:

a. tekanan hidrostatis di dasar bejana,

b. tekanan mutlak di dasar bejana.

Penyelesaian

h = 85 cm = 0,85 m

ρ = 1000 kg/m^3

P_u = 1 atm = 10^5 Pa

g = 10 m/s^2

a. Tekanan hidrostatis di dasar bejana sebesar:

$$P_h = \rho\, g\, h$$
$$= 1000 \,.\, 10 \,.\, 0{,}85 = 8{,}5.10^3 \text{ Pa}$$

b. Tekanan mutlaknya di dasar bejana sebesar:

$$P_A = P_u + P_h$$
$$= 10^5 + 8{,}5.10^3$$
$$= 1{,}085.10^5 \text{ Pa}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Faza memiliki kolam renang di rumahnya, kedalamannya 1,8 m. Tekanan udara saat itu 1 atm. Jika massa jenis air 1000 kg/m^3 dan g = 10 m/s maka tentukan:

a. tekanan hidrostatis di dasar kolam,

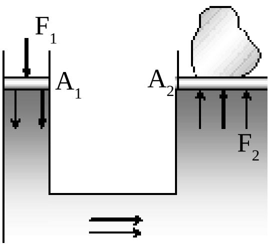
b. tekanan mutlak di dasar kolam!

Hukum Pascal

Seorang ilmuwan dari Perancis, Blaise Pascal (1623-1662) telah menyumbangkan sifat fluida statis yang kemudian dikenal sebagai hukum Pascal. Bunyi hukum Pascal itu secara konsep dapat dijelaskan sebagai berikut.

> *"Jika suatu fluida diberikan tekanan pada suatu tempat maka tekanan itu akan diteruskan ke segala arah sama besar."*

Dari hukum Pascal di atas dapat ditentukan perumusan untuk bejana berhubungan pada *Gambar 7.3* seperti berikut.



Gambar 7.3
Bejana berhubungan

$$P_a = P_R$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \qquad \text{...(7.3)}$$

CONTOH 7.2

Bejana berhubungan digunakan untuk mengangkat sebuah beban. Beban 1000 kg diletakkan di atas penampang besar 2000 cm^2. Berapakah gaya yang harus diberikan pada bejana kecil 10 cm^2 agar beban terangkat?

Penyelesaian

F_2 = m_A = 1000 . 10 = 10^4 N

A_2 = 2000 cm^2

A_1 = 10 cm^2

F_1 = ?

Sesuai hukum Pascal dapat ditentukan nilai F_1 sebagai berikut.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\frac{F_1}{10} = \frac{10^4}{2000}$$

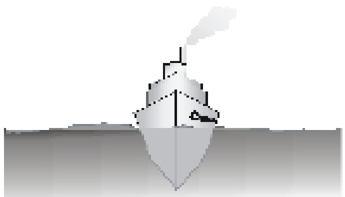
$$F_1 = 50 \text{ N}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bejana berhubungan memiliki luas penampang 15 cm^2 dan 500 cm^2. Jika pada penampang kecil ditekan dengan gaya 10 N maka berapakah massa beban yang dapat diangkat pada penampang besar?

2. Gaya Archimedes

a. Gaya Archimedes

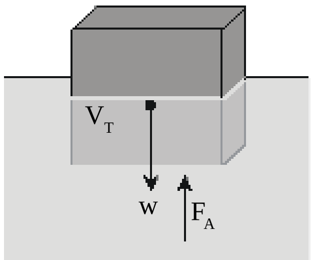


Gambar 7.4
Kapal dapat terapung di air

Kapal laut terbuat dari bahan logam. Jika kalian masukkan sebatang logam ke dalam air tentu akan tenggelam. Tetapi mengapa kapal laut bisa terapung, bahkan dapat memuat barang dan orang yang cukup banyak? Fenomena inilah yang dapat dijelaskan dengan hukum Archimedes.

Archimedes adalah seorang ilmuwan yang hidup sebelum masehi (287-212 SM). Archimedes telah menemukan adanya gaya tekan ke atas atau gaya apung yang terjadi pada benda yang berada dalam fluida (air). Pandangan Archimedes dapat dirumuskan sebagai berikut.

> *"Jika benda dimasukkan dalam fluida maka benda akan merasakan gaya apung yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan."*



Gambar 7.5
Benda dalam air

Perhatikan *Gambar 7.5*, sebuah balok dimasukkan ke dalam air. Saat volume balok tercelup V_T maka fluida itu akan berpindah dengan volume juga V_T berarti gaya tekan ke atas yang dirasakan balok sebesar:

$$F_A = w_{\text{zat cair yang pindah}}$$

$$F_A = m_{air}\, g$$

$$F_A = \rho_a\, g\, V_T \qquad \text{.................................... (7.4)}$$

dengan : F_A = gaya tekan ke atas (N)
ρ_a = massa jenis fluida air (kg/m^3)
g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)
V_T = volume fluida yang dipindahkan atau volume benda tercelup

Persamaan 7.4 ini dapat juga dibuktikan melalui eksperimen. Lakukan kegiatan 7.2.

Kegiatan 7.2

Gaya Archimedes

Tujuan : Menentukan hubungan gaya Archimedes (F_A) dengan volume yang tercelup (V_T)

Alat dan bahan : Neraca pegas, balok, air, gelas.

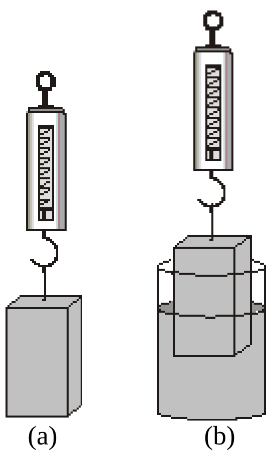
Kegiatan :

1. Timbanglah berat balok di udara dengan neraca pegas seperti *Gambar 7.6 (a)*. Hasilnya W.
2. Timbanglah berat balok saat dicelup di air. Berilah keadaan bahwa volume yang tercelup V_T. Ukurlah V_T dan berat di air W^l.

   Gaya archimedes dapat ditentukan dengan persamaan $F_A = W - W^l$.
3. Ulangi langkah (2) dengan mengubah-ubah nilai V_T.

Tugas

1. Catat semua data pada tabel
2. Ulangi kegiatan yang sesuai dengan kegiatan ini untuk menentukan hubungan F_A dengan $s = \rho\, g$.
3. Buat simpulan.



Gambar 7.6

Gaya Archimedes arahnya ke atas maka pengaruhnya akan mengurangi berat benda yang tercelup. Pengaruh ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_A = w - w' \quad \text{.......................................(7.5)}$$

CONTOH 7.3

Benda bermassa 3 kg memiliki volume $1{,}5.10^{-3}$ m^3. Jika benda tersebut ditimbang di air (ρ_a = 1 gr/cm^3) dan g = 10 m/s^2 maka tentukan:

a. gaya Archimedes yang bekerja pada benda,

b. berat benda di air!

Penyelesaian

m = 3 kg

g = 10 m/s^2

V = $1{,}5.10^{-3}$ m^3

ρ_a = 1 gr/cm^3 = 1000 kg/m^3

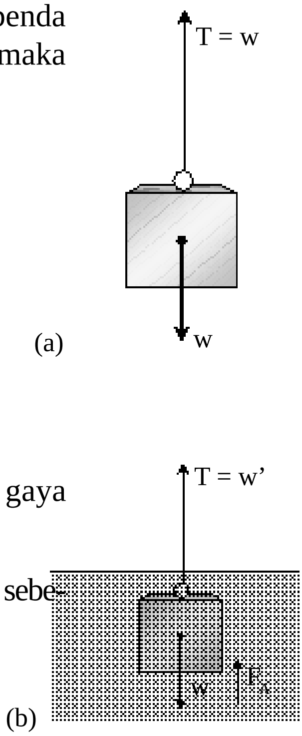
Untuk menyelesaikan soal ini dapat kalian perhatikan gaya - gaya yang bekerja pada *Gambar 7.7*.

a. Gaya Archimedes (tekan ke atas) yang dirasakan benda sebesar:

$$F_A = \rho_a\, g\, V$$
$$= 1000 \cdot 10 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ N}$$

b. Berat benda di air memenuhi:

$$w' = w - F_A$$
$$= m\, g - F_A$$
$$= 3.10 - 15 = 15 \text{ N}$$



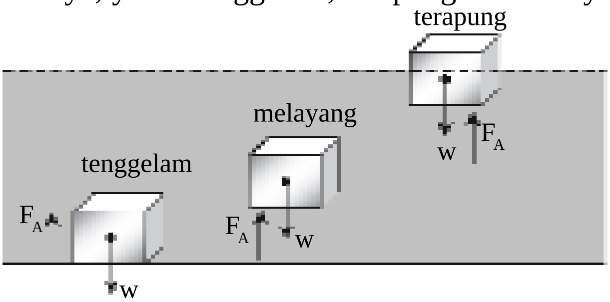
Gambar 7.7
Pengukuran berat benda

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah benda yang ditimbang di udara sebesar 12 N tetapi saat ditimbang di air ternyata beratnya tinggal 8 N, ρ_a = 1 gr/cm^3 dan g = 10 m/s^2. Tentukan volume benda tersebut!

b. Keadaan benda

Apakah pengaruh pengurangan berat benda oleh gaya Archimedes? Kalian sudah banyak melihat kejadiannya dalam kehidupan sehari-hari. Jika benda dimasukkan dalam fluida atau air maka akan ada tiga kemungkinan keadaannya, yaitu: tenggelam, terapung dan melayang.



Gambar 7.8
Tiga keadaan benda dalam air.

(a) Benda akan tenggelam dalam fluida jika gaya tekan keatasnya tidak mampu menahan beratnya.

$$F_A < w$$

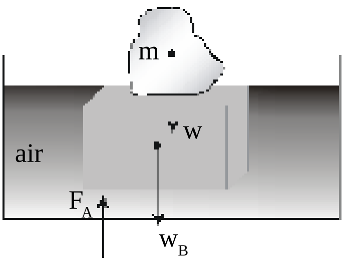
(b) Benda melayang dalam fluida syaratnya gaya tekan keatasnya harus sama dengan berat bendanya.

$$F_A = w$$

(c) Benda terapung dalam fluida syaratnya sama dengan benda melayang yaitu gaya tekan keatasnya harus sama dengan berat bendanya.

$$F_A = w$$

Perbedaan yang perlu kalian perhatikan adalah benda terapung memiliki bagian yang di atas permukaan air.



Gambar 7.9
Balok terapung mengangkat beban.

CONTOH 7.4

Balok kayu bermassa 20 kg memiliki volume 5.10^{-2} m^3. Jika balok dimasukkan dalam air (ρ_a = 1000 kg/m^3) diberi beban maka berapakah massa beban maksimum yang dapat ditampung di atas balok itu?

Penyelesaian

m_B = 20 kg
V_B = 5.10^{-2} m^3
ρ_a = 1000 kg/m^3

Keadaan balok yang diberi beban dapat dilihat seperti pada *Gambar 7.9*. Agar balok masih terapung maka massa beban maksimum dapat dihitung dengan keadaan keseimbangan berikut.

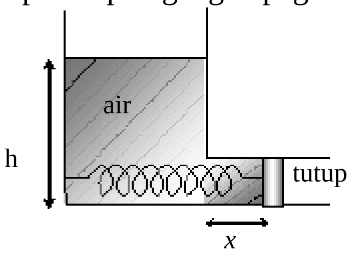
$$\begin{aligned} w + w_B &= F_A \\ m\,g + m_B\,g &= \rho_a\,g\,V_B \\ m + 20 &= 1000 \,.\, 5.10^{-2} \\ m &= 30 \text{ kg} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

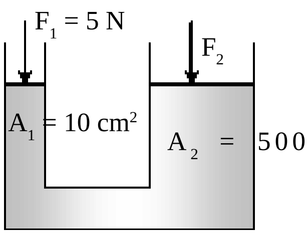
Tabung kosong bermassa 2 kg memiliki volume 2.10^{-2} m^3. Kemudian tabung diisi timah dan dimasukkan ke dalam air. Berapakah massa timah maksimum agar tabung masih terapung?

ATIHAN 7.1

1. Suatu bak yang tingginya 80 cm terisi penuh suatu zat cair yang massa jenisnya 0,5 grcm^{-3}. Berapakah besar tekanan hidrostatika pada dasar bak ?(g = 10 m/s^2)
2. Sebuah bejana diisi air (ρ_{air} = 1 gr/cm^3) dan bagian bawah terdapat lubang pipa yang diberikan penutup. Penutup diikat dengan pegas yang konstantanya 200 N/m. Sebelum ada air penutup tepat di titik A. Setelah ada air berapakah peregangan pegas?



3. Bejana berhubungan yang terlihat di bawah berisi zat cair dan diberi pengisap (berat dan gesekan diabaikan). Agar pengisap tetap seimbang, maka berapakah beban F_2 yang harus diberikan?



4. Sepotong besi di udara beratnya 100 N kemudian dimasukkan ke dalam minyak tanah dan beratnya menjadi 96 N. Apabila massa jenis minyak tersebut 8.10^2 kg m^{-3} dan g = 10 m/s^2, berarti tentukan volume besi yang tercelup dalam minyak!
5. Massa sesungguhnya dari sebuah benda adalah 300 gram. Jika ditimbang di dalam air massanya seolah-olah menjadi 225 gram, dan jika ditimbang di dalam suatu cairan lain massanya seolah-olah menjadi 112,5 gram. Jika diandaikan bahwa rapat massa air adalah 1 gr/cm^3, maka berapakah rapat massa cairan itu?
6. Di dalam sebuah bak berisi air (ρ_{air} = 1 gr/cm^3) terapung sebongkah es (ρ_{es} = 0,9 gr/cm^3). Jika volume es yang muncul di permukaan air 50 cm^3, maka hitunglah volume es seluruhnya!
7. Sebuah balon dengan diameter 10 m berisi udara panas. Kerapatan udara di dalam bola adalah 75 % kerapatan udara luar (kerapatan udara luar 1,3 kg/m^3). Berapakah besar massa total maksimum penumpang dan beban yang masih dapat diangkut balon tersebut !(g = 10 m/s^2)

B. Fluida Dinamis

Fluida dinamis adalah fluida yang bergerak. Besaran-besaran apa yang perlu dipelajari pada fluida dinamis itu? Jawabannya dapat kalian pelajari pada penjelasan berikut.

1. Kontinuitas

Pada fluida yang bergerak memiliki besaran yang dinamakan debit.Apakah kalian pernah mendengar besaran ini? Debit adalah laju aliran air. Besarnya debit menyatakan banyaknya volume air yang mengalir tiap detik.

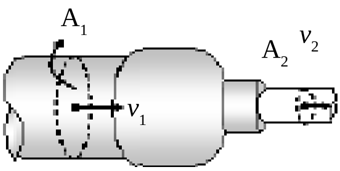
$$Q = \frac{V}{t} \qquad \text{.................................(7.6)}$$

dengan : Q = debit (m^3/s)
V = volume air yang mengalir (m^3)
t = waktu aliran (s)

Apabila melalui sebuah pipa maka volume air yang mengalir memenuhi V = A . S. Jika nilai ini disubstitusikan ke persamaan 7.6 dapat diperoleh definisi baru sebagai berikut.

$$Q = A.\ \frac{S}{t}$$

$$Q = A\ .\ v \qquad \text{............................(7.7)}$$



Gambar 7.10
Pipa berbeda penampang

dengan : A = luas penampang (m^2)
v = kecepatan aliran (m/s)

Pipa aliran fluida atau air biasanya memiliki penampang yang tidak sama. Contohnya pipa PDAM. Pipa aliran yang ada di jalan-jalan besar diameternya bisa menjadi 30 cm tetapi saat masuk di perumahan bisa mengecil menjadi 10 cm dan mencapai kran di rumah tinggal 20 cm. Jika air mengalir tidak termanfaatkan maka akan berlaku kekekalan debit atau aliran fluida dan dinamakan *kontinuitas*. Kontinuitas atau kekekalan debit ini dapat dituliskan sebagai berikut. Cermati persamaan tersebut.

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1\, v_1 = A_2\, v_2 \qquad \text{.............................(7.8)}$$

Untuk memahami pengertian debit dan kontinuitas debit dapat kalian pelajari contoh berikut.

CONTOH 7.5

Air mengalir dari pipa berpenampang besar 200 cm^2 dengan kecepatan 3 m/s mengalir pipa kecil seperti pada *Gambar 7.8*. Luas penampang yang kecil 50 cm^2. Tentukan:

a. debit pada pipa kecil,
b. kecepatan air pada pipa kecil!

Penyelesaian

A_1 = 200 cm^2 = 2.10^{-2} m^2
v_1 = 3 m/s
A_2 = 50 cm^2 = 5.10^{-3} m^2

a. Debitnya tetap berarti:

$$Q_2 = Q_1$$
$$= A_1\ v_1$$
$$= 2.10^{-2} . 3 = 6.10^{-2}\ m^3/s$$

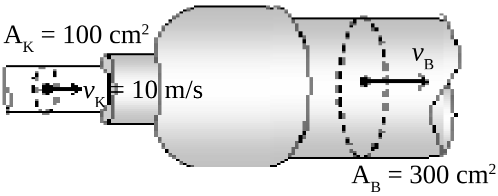
b. Kecepatan di pipa kecil memenuhi:

$$A_2 v_2 = A_1 v_1$$
$$50 . v_2 = 200 . 3$$
$$v_2 = 12\ m/s$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Air yang mengalir terlihat seperti pada pipa di bawah. Tentukan:

a. debit pada pipa besar,



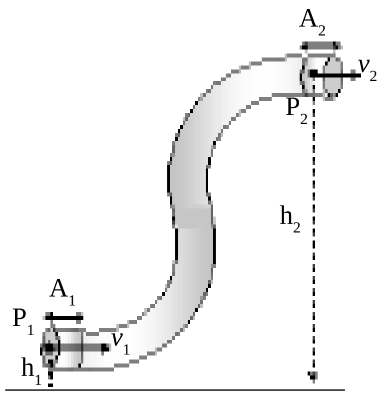
2. Azas Bernoulli

Seperti penjelasan di depan, kalian tentu sudah tahu bahwa keadaan fluida ada yang diam dan ada yang bergerak. Fluida diam memiliki tekanan yang dinamakan tekanan hidrostatis, $P = \rho gh$. Bagaimana dengan tekanan oleh fluida dinamis? Besarnya sesuai dengan energi kinetik, $P = \frac{1}{2}\rho v^2$. Pada suatu fluida ternyata berlaku kekekalan tekanan. Kekekalan tekanan ini pertama kali dijelaskan oleh Bernoulli sehingga dikenal sebagai *azas Bernoulli*. Azas ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

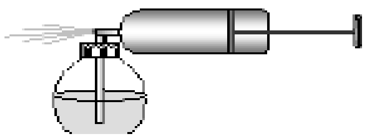
$$P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{kekal} \quad \text{.......................} \quad (7.9)$$

Contoh berlakunya azas Bernoulli adalah semprotan nyamuk. Coba perhatikan *Gambar 7.12*. Pada saat udara dipompakan maka udara di atas selang cairan akan bergerak cepat. Akhirnya tekanan udara kecil dan cairan dapat tersedot ke atas.

Contoh peristiwa yang berlaku azas Bernoulli yang lain adalah seperti pada kebocoran air di tangki. Perhatikan *Gambar 7.12*. Sebuah bejana berisi penuh air. Bejana bocor pada jarak h di bawah permukaan air. Kecepatan aliran kebocoran air dapat ditentukan dengan Azas Bernoulli :



Gambar 7.11



Gambar 7.12

$$P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2}\rho v_A^{\ 2} = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2}\rho v_B^{\ 2}$$

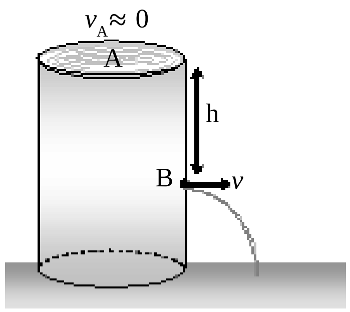
Tekanan di titik A maupun B sama dengan tekanan udara $P_A \approx P_B = P_u$, di titik A kecepatannya dapat dianggap nol $v_A = 0$ karena luas penampangnya jauh lebih besar dibanding kebocoran dan h = 0. Dari nilai-nilai ini dapat diperoleh :

$$P_u + \rho gh + \frac{1}{2}\rho(0)^2 = P_u + \rho gh(0) + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$v^2 = 2\,gh$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{.............................} (7.10)$$

Bagaimanakah penggunaan persamaan 7.10 ini. Untuk mengetahuinya dapat kalian cermatilah contoh di bawah.



Gambar 7.13
Bejana berisi air yang bocor.

CONTOH 7.6

Bejana setinggi 2 m diisi penuh air. Pada bejana terjadi dua kebocoran yang berjarak 0,5 m dari atas dan 0,5 m dari bawah. Tentukan kecepatan aliran air yang bocor tersebut.

Penyelesaian

h_1 = 0,5 m
h_2 = (2 – 0,5) = 1,5 m

Kecepatan aliran kebocoran sesuai persamaan 7.10 sehingga diperoleh :

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}$$
$$= \sqrt{2.10.0,5} = \sqrt{10} = 3,14 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh_2}$$
$$= \sqrt{2.10.1,5} = \sqrt{30} = 5,48 \text{ m/s}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

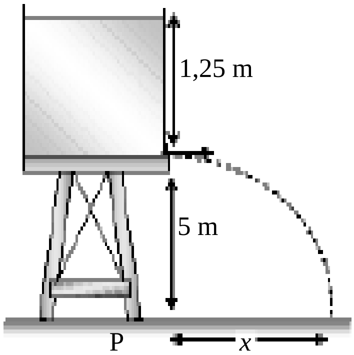
Sebuah tempat air (Reservoir air) dilubangi kecil di bawahnya. Jarak permukaan air dengan lubang 1,8 m. Jika g = 10 m s^{-2}, tentukan kecepatan air yang keluar dari lubang itu?

ATIHAN 7.2

1. Sebuah pipa silindrik yang lurus mempunyai dua macam penampang, masing-masing dengan luas 400 mm^2 dan 100 mm^2. Pipa tersebut diletakkan secara horisontal, sedangkan air di dalamnya mengalir dari arah penampang besar ke penampang kecil. Jika kecepatan arus di penampang besar adalah 2 m/s, maka berapakah kecepatan arus di penampang kecil?

2. Air mengalir pada suatu pipa yang diameternya berbeda dengan perbandingan 1 : 2. Jika kecepatan air yang mengalir pada bagian pipa yang besar sebesar 40 m/s, maka hitunglah besarnya kecepatan air pada bagian pipa yang kecil!

3. Gambar di samping atas menunjukkan reservoir penuh air yang dinding bagian bawahnya bocor, hingga air memancar sampai di tanah. Jika percepatan gravitasi = 10 m/s^2, maka tentukan jarak pancaran maksimum (di tanah) diukur dari P!



4. Sebuah bejana diisi air setinggi 4 m. Pada ketinggian 1,5 m terdapat kebocoran. Dan ketinggian h dari kebocoran pertama ada kebocoran lagi sehingga mencapai jangkauan yang sama, maka tentukan nilai h!

5. Anggap udara mengalir horisontal melalui sebuah sayap pesawat terbang sehingga kecepatannya bagian atasnya 50 m/s dan di bagian bawahnya 20 m/s. Jika massa sayap 500 kg dan luas penampangnya 10 m^2, berapakah besar gaya resultan pada sayap? ρ_u = 1,4 kg/m^3

Rangkuman Bab 7

1. Fluida statis memiliki tekanan yang tergantung pada massa jenis dan kedalamannya.

   $P = \rho\, g\, h$

2. Jika sebuah benda dirasakan dalam fluida maka benda akan merasakan gaya tekan ke atas sebesar:

   $F = \rho\, g\, V$

3. Ada tiga keadaan benda akibat pengaruh gaya tekan ke atas atau gaya Archimedes:
   a. Tenggelam : $w > F_A$
   b. Melayang : $w = F_A$
   c. Terapung : $w = F_A$

4. Fluida yang bergetar yang tidak termampatkan akan memenuhi kekekalan debit atau kontinuitas:

   $Q_1 = Q$

   $A_1 v_1 = A_2 v_2$

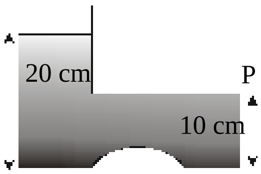
5. Azas Bernoulli menjelaskan tentang kekekalan tekanan:

   $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho\, g\, h = \text{tetap}$

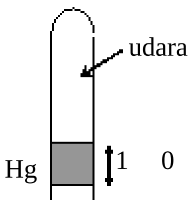
Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

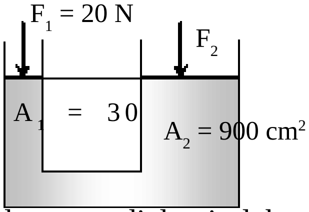
1. Bejana berisi air dengan massa jenis 1000 kg/m^3. Jika g = 10 m/s^2 tekanan hidrostatik pada titik p adalah ....
   A. 2.10^5 N/m^2
   B. 2.10^4 N/m^2
   C. 1.10^4 N/m^2
   D. 2.10^3 N/m^2
   E. 1.10^3 N/m^2



2. Gambar menunjukkan sebatang pipa kaca yang berisi udara. Ujung atas pipa tertutup sedangkan ujung bawah tertutup oleh raksa yang tingginya 5 cm. Jika tekanan udara di luar 76 cmHg, maka tekanan udara didalam pipa adalah ….
   A. 0 cmHg
   B. 10 cmHg
   C. 71 cmHg
   D. 76 cmHg
   E. 81 cmHg



3. Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah tabung U yang berisi zat cair dan diberi pengisap (berat dan gesekan diabaikan). Agar pengisap tetap seimbang, maka beban F_2 yang harus diberikan adalah ....
   A. 150 N
   B. 400 N
   C. 600 N
   D. 1200 N
   E. 2400 N



4. Gaya Archimedes yang dialami oleh sebuah benda yang dimasukkan ke dalam cairan ditentukan oleh ….
   A. massa benda dan keadaan benda di cairan
   B. volume benda dan keadaan benda di cairan
   C. volume benda dan massa jenis cairan
   D. massa benda dan massa jenis cairan
   E. massa cairan dan kedalaman benda di cairan

5. Sepotong besi bermassa 4 kg dan massa jenisnya 8 gr/cm^3 dimasukkan ke dalam air yang massa jenisnya 1 gr/cm^3. Di dalam air berat besi tersebut seolah-olah akan hilang sebesar ....
   A. 5 N
   B. 15 N
   C. 20 N
   D. 35 N
   E. 40 N

6. Sepotong kaca di udara memiliki berat 25,0 N. Jika dimasukkan ke dalam air beratnya menjadi 15,0 N. Bila massa jenis air adalah $1{,}00.10^3$ kg/m^3 dan percepatan gravitasinya 10 m/s^2 maka massa jenis kaca adalah ....
   A. 1,5. 10^3 kg/m^3
   B. 2,5. 10^3 kg/m^3
   C. 3,5. 10^3 kg/m^3
   D. 4,5. 10^3 kg/m^3
   E. 5,5. 10^3 kg/m^3

7. Sebuah gabus dimasukkan dalam air ternyata 75 % volume gabus tercelup dalam air, maka massa jenis gabus adalah ….
   A. 1,75 gr/cm^3
   B. 1,00 gr/cm^3
   C. 0,75 gr/cm^3
   D. 0,50 gr/cm^3
   E. 0,25 gr/cm^3

8. Sebuah ban dalam mobil diisi udara, volume ban 0,1 m^3 dan massanya 1 kg. Apabila ban tersebut dipakai sebagai pengapung di dalam air, massa jenis air 1 gr/cm^3 dan g = 10 m/s^2, maka ban tersebut dapat mengapungkan beban maksimum sebesar ….
   A. 1001 kg
   B. 1000 kg
   C. 101 kg
   D. 100 kg
   E. 99 kg

9. Alat yang **bukan** merupakan penerapan hukum Archimedes adalah …
   A. kapal laut
   B. galangan kapal
   C. balon udara
   D. hidrometer
   E. semprot obat nyamuk

10. Minyak mengalir melalui pipa berdiameter 8 cm dengan kecepatan 4 m/s. Kecepatan alir minyak adalah .... m^3/s
    A. $3,2\pi .\ 10^{-3}$
    B. $6,4\pi .\ 10^{-3}$
    C. $1,28\pi .\ 10^{-2}$
    D. $2.54\pi .\ 10^{-2}$
    E. $6,4\pi .\ 10^{-2}$

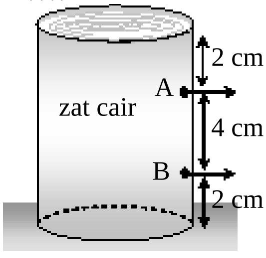
11. Air mengalir dalam pipa dari penampang besar menuju ke penampang kecil dengan cepat aliran 10 cm/s. Jika luas penampang besar 200 cm^2 dan luas penampang kecil 25 cm^2, maka air keluar dari penampang kecil dengan kecepatan ....
    A. 10 cm/s
    B. 22,5 cm/s
    C. 80 cm/s
    D. 200 cm/s
    E. 400 cm/s

12. Pipa besar luas penampangnya 5 cm^2 ujungnya mempunyai kran luasnya 0,5 cm^2. Kecepatan zat cair yang mengalir pada pipa yang besar 4 m/s. Dalam waktu 10 menit zat cair yang keluar dari kran adalah ....
    A. 0,02 m^3
    B. 2 m^3
    C. 0,12 m^3
    D. 1,2 m^3
    E. 12 m^3

13. Hukum Bernoulli menjelaskan tentang ....
    A. Kecepatan fluida yang besar pada tempat yang menyempit akan menimbulkan tekanan yang besar pada tempat itu
    B. Pada tempat yang tinggi fluida akan memiliki tekanan yang tinggi
    C. Jika fluida ditekan maka akan bergerak dengan kecepatan yang besar
    D. Fluida yang mengalir semakin cepat pada tempat yang menyempit akan menimbulkan tekanan yang kecil
    E. Fluida yang melalui pipa yang melebar maka kecepatan dan tekanannya akan bertambah

14. Suatu bak berisi air setinggi 10 m, ternyata pada bagian bawah samping bocor. Jika g = 9,8 m/s^2, maka kecepatan air yang keluar dari kebocoran tersebut adalah ....
    A. 14 cm/detik
    B. 140 cm/detik
    C. 1400 cm/detik
    E. 140 m/detik
    D. 14000 cm/det

15. Fluida memancur melalui lubang kecil pada dinding bak (lihat gambar). Perbandingan lokasi pancuran air mengenai tanah dari titik C untuk pancuran dari lubang A dan B yaitu $x_1 : x_2$ adalah ….
    A. 3 : 2
    B. 2 : 3
    C. 1 : 3
    D. 1 : 2
    E. 1 : 1



BAB

8

TERMODINAMIKA



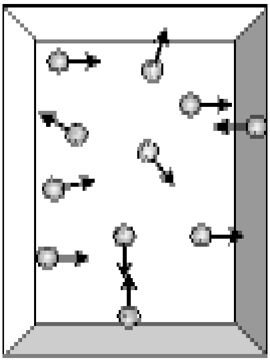
Sumber: www.sci.news.co

Mesin uap sudah ditemukan jauh sebelum para ilmuwan membahas tentang energi yang dimiliki gas. Apakah gas itu, bagaimanakah sifat-sifatnya ? Bagaimanakah prinsip kerja mesin uap itu?

Semua pertanyaan di atas dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan sifat-sifat gas ideal monoatomik,
2. menentukan hubungan besaran-besaran yang menjelaskan tentang keadaan gas baik dengan hukum Boyle-Guy Lussac maupun dengan persamaan umum gas,
3. menjelaskan berlakunya hukum I Termodinamika pada suatu proses sistem gas,
4. menentukan usaha, perubahan energi dalam dan perubahan kalor pada proses termodinamika
5. menerapkan siklus Carnot pada mesin kalor.

A. Sifat-sifat Gas Ideal



Gambar 8.1.
Keadaan partikel gas monoatomik.

1. Pengertian gas ideal

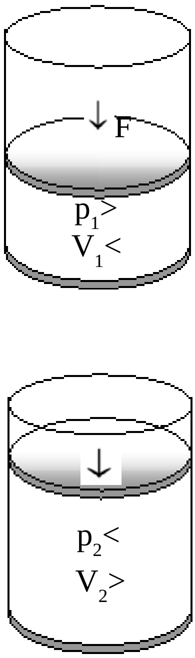
Seperti yang telah diketahui fase zat ada tiga yaitu padat, cair dan gas. Udara merupakan contoh dari fase gas. Gas ideal merupakan kumpulan dari partikel-partikel suatu zat yang jaraknya cukup jauh dibandingkan dengan ukuran partikelnya. Lihat *Gambar 8.1*. Partikel-partikel itu selalu bergerak secara acak ke segala arah. Pada saat partikel-partikel gas ideal itu bertumbukan antar partikel atau dengan dinding akan terjadi tumbukan lenting sempurna sehingga tidak terjadi kehilangan energi.

Apa yang dinamakan gas monoatomik? *mono* berarti satu *atomik* berarti atom. Jadi gas monoatomik berarti gas yang partikel-partikelnya berupa atom tunggal. Lihat kembali *Gambar 8.1*. Contoh gas monoatomik adalah gas *helium*, *neon*, dan *argon*. Untuk kelas XI SMA ini masih dibatasi gas monoatomik. Sebenarnya ada gas yang lain, seperti *gas diatomik*; oksigen (O_2), Nitrogen (N_2), dan ada lagi *gas triatomik*; Karbondioksida (CO_2) dan uap air (H_2O).

Untuk mengetahui sifat-sifat lain tentang gas monoatomik dapat kalian cermati penjelasan berikut.

(a)

(b)



Gambar 8.2.
Tekanan volume gas berbanding terbalik.

2. Persamaan umum gas

Pernah melihat atau mendengar alat masak Preswere Cooler (Presto)? Alat tersebut digunakan untuk memasak dengan memanfaatkan tekanan gas. Tekanan gas dapat diatur dengan mengatur suhu dan volumenya. Dari penjelasan ini dapat diketahui bahwa gas memiliki besaran-besaran diantaranya adalah tekanan P, volume V dan suhu T. Hubungan ketiga besaran inilah yang dipelajari dalam bagian ini.

a. Hukum Boyle - Guy Lussac

Keadaan tekanan, volume dan suhu gas dimulai penjelasannya oleh *Boyle*. Boyle mengalami keadaan gas yang suhunya tetap. Pada saat gas ditekan ternyata volumenya mengecil dan saat volumenya diperbesar tekanannya kecil. Keadaan di atas menjelaskan bahwa pada suhu yang tetap tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya.

$$PV = \text{tetap} \qquad \text{.....................................(8.1)}$$

Persamaan 8.1 ini yang kemudian dikenal sebagai hukum Boyle.

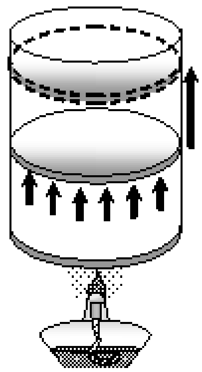
Keadaan berikutnya dijelaskan oleh *Guy Lussac*. Menurut Guy Lussac, pada gas yang tekanannya tetap maka volumenya akan sebanding dengan suhunya. Coba lihat *Gambar 8.3*. Jika ada gas dalam ruang tertutup dengan P = tetap dipanaskan maka volumenya akan berubah. Hubungan ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{V}{T} = \text{tetap} \qquad \text{.....................................(8.2)}$$

Persamaan 8.1 dan persamaan 8.2 di atas jika digabung akan menjadi satu persamaan yang dapat menggambarkan keadaan perubahan P, V dan T (tidak ada yang tetap). Persamaan gabungan itulah yang dinamakan *hukum Boyle-Guy Lussac*. Persamaannya dapat kalian lihat di bawah.

$$\frac{PV}{T} = \text{tetap} \qquad \text{.....................................(8.3)}$$

Persamaan 8.3 ini akan berlaku jika perubahan keadaan gas terjadi pada ruang tertutup dan jumlah partikelnya tetap.



Gambar 8.3
Gas yang dipanaskan dapat menggeser pistornya sehingga volumenya membesar.

CONTOH 8.1

Dalam tabung yang tertutup, volumenya dapat berubah-ubah dengan tutup yang dapat bergerak mula-mula memiliki volume 1,2 lt. Pada saat itu tekanannya diukur 1 atm dan suhunya 27°. Jika tutup tabung ditekan sehingga tekanan gas menjadi 1,2 atm ternyata volume gas menjadi 1,1 lt. Berapakah suhu gas tersebut?

Penyelesaian

V_1 = 1,2 lt

P_1 = 1 atm

T_1 = $27^o + 273 = 300$ K

V_2 = 1,1 lt

P_2 = 1,2 atm

T_2 = ?

Dari persamaan 8.3 dapat ditentukan suhu T_2 pada gas tertutup itu.

$$\frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_1V_1}{T_1}$$

$$\frac{1,2 \times 1,1}{T_2} = \frac{1 \times 1,2}{300}$$

T_2 = 300 . 1,1 = 330 K

atau T_2 = 330 - 273 = $57^{O}C$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

1. Pada sebuah pistor diisi gas dengan volume 2,2 lt dan tekanannya 2.10^5pa. Jika tekanan gas tersebut ditambah menjadi 6.10^5pa pada suhu tetap maka berapakah volume gas seharusnya?
2. Gas dalam ruang tertutup memiliki volume 0,8 liter, tekanan 3,2 atm dan suhu $57^{O}C$. Berapakah tekanan gas tersebut agar volumenya menjadi 2,4 liter dan suhunya $87^{O}C$?

b. Persamaan umum gas

Coba kalian perhatikan kembali persamaan 8.3. Persamaan tersebut berlaku pada ruang tertutup yang jumlah partikelnya terjaga tetap. Bagaimana jika jumlah partikel itu berubah? Kalian tentu sering melihat balon yang ditiup. Meniup balon berarti menambah jumlah partikel. Pada saat itu volume benda akan bertambah. Berarti jumlah partikel sebanding dengan volumenya.

Contoh kedua adalah saat memompa ban dalam roda sepeda atau mobil. Saat dipompa berarti jumlah partikelnya bertambah. Pertambahan itu dapat memperbesar tekanan sedangkan volume dan suhu tetap. Dari penjelasan itu terlihat bahwa $\frac{PV}{T}$ sebanding dengan jumlah partikelnya. Pembandingnya dinamakan konstanta Stefan-Boltzmann, dan disimbolkan k.

$$\frac{PV}{T} \sim N$$

$$\frac{PV}{T} = N\,k$$

$$PV = N\,k\,T \qquad \text{.......................................(8.4)}$$

dengan :

P = tekanan gas (N/m^2 atau Pa)
V = volume gas (m^3)
T = suhu gas (K)
N = jumlah partikel
k = $1,38 \,.\, 10^{-23}$ J/K

Persamaan 8.4 itulah yang dikenal sebagai persamaan umum gas. Nilai N dapat diubah menjadi $N = n\,N_0$. n = jumlah mol dan N_0 bilangan Avogadrol $6,022 \,.\, 10^{23}$ partikel/mol. Dan nilai N_0k dapat diubah menjadi $R = N_0k = 8,314\ Jmol^{-1}K^{-1}$. Dengan substitusi nilai N dan R maka persamaan 8.4 dapat diubah menjadi seperti berikut.

$$PV = n\,R\,T \qquad \text{.................................(8.5)}$$

CONTOH 8.2

1,2 kg gas ideal disimpan pada suatu silinder. Pada saat diukur tekanannya 2.10^5Pa dan suhu 27ºC. Jika sejumlah gas sejenis dimasukkan lagi ternyata suhunya menjadi 87ºC dan tekanan menjadi 3.10^5Pa. Berapakah massa gas yang dimasukkan tadi?

Penyelesaian

m_1 = 1,2 kg P_1 = 2.10_5 Pa
T_1 = $27^O + 273$ = 300 K
T_2 = $87^O + 273$ = 360 K
P_2 = 3.10^5 Pa
Δm = ?

Pada setiap keadaan gas berlaku persamaan umum gas.

$$PV = n\,R\,T$$

Substitusikan $n = \frac{m}{Mr}$ sehingga diperoleh:

$$PV = \frac{m}{Mr}\,R\,T$$

V, Mr dan R nilainya tetap sehingga berlaku hubungan

$$\frac{mT}{P} = \text{tetap}$$

$$\frac{m_2T_2}{P_2} = \frac{m_1T_1}{P_1}$$

$$\frac{m_2.360}{3.10^5} = \frac{1,2.300}{2.10^5}$$

$$m_2 = 1,5 \text{ kg.}$$

Berarti penambahan massanya:

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

$$= 1,5 - 1,2 = 0,3 \text{ kg.}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sejumlah gas ideal mula-mula bertekanan 10 atm dan suhunya 127°C dalam wadah yang tetap. Jika 2/5 bagian massa gas keluar ternyata suhunya tinggal 27°C maka berapakah tekanannya sekarang.

3. Azas Ekuipartisi

Setiap gas mengandung partikel-partikel yang selalu bergerak. Mengapa selalu bergerak? Partikel-partikel itu dapat bergerak karena memiliki energi. Energinya dinamakan energi kinetik. Energi kinetik rata-rata partikel gas besarnya memenuhi suatu aturan tertentu seperti berikut.

"Jika pada gas berlaku hukum Newton maka semua derajat kebebasan gerak partikel akan menyumbang energi kinetik sebesar 1/2 kT."

Aturan di atas itulah yang dikenal sebagai *Azas ekuipartisi* atau azas bagi rata. Besar energi kinetik rata-rata partikel menjadi sebesar

$$\overline{Ek} = f\,(1/2\ kT) \qquad \text{.................................(8.6)}$$

dengan : $\overline{Ek}$ =energi kinetik rata-rata partikel (joule)

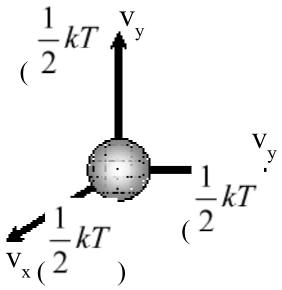
T = suhu gas (K)

f = derajat kebebasan

k = ketetapan Baltzum.

a. Energi gaya monoatomik

Seperti penjelasan didepan untuk kelas XI saat ini dibatasi pada *gas monoatomik*. Partikel-partikel gas monoatomik memiliki tiga derajat kebebasan. Lihat *Gambar 8.4*. Berarti energi kinetik rata-rata partikelnya memenuhi persamaan berikut.



Gambar 8.4

$$\overline{Ek} = \frac{3}{2}kT \qquad \text{..................................(8.7)}$$

Dalam sejumlah gas dapat mengandung banyak partikel (N partikel). Setiap partikel tersebut memiliki energi, jumlah semua energi kinetik partikel-partikel itu dinamakan energi dalam gas dan disimbulkan U sesuai persamaan berikut.

$$U = N\,\overline{Ek}$$

$$U = \frac{3}{2}NkT \qquad \text{...........................(8.8)}$$

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

CONTOH 8.3

1 mol gas helium (Mr He = 4 gr/mol) memiliki suhu $27^{O}C$. Tentukan:

a. Energi kinetik rata-rata partikel
b. Energi dalam gas.

Penyelesaian

n = 1 mol
Mr He = 4
T = $27^{O}C + 273 = 300$ K

a. Energi kinetik rata-rata sebesar :

$$\overline{Ek} = \frac{3}{2}kT$$

$$= \frac{3}{2} \times 1{,}38 \,.\, 10^{-23} \times 300 = 6{,}21 \,.\, 10^{-21} \text{ joule}$$

b. Energi dalam gas

$$N = m\,No$$
$$= 1 \,.\, 6{,}022 \,.\, 10^{23} = 6{,}022 \,.\, 10^{23}$$

$$U = N\,\overline{Ek}$$
$$= 6{,}022 \,.\, 10^{23} \,.\, 6{,}21 \,.\, 10^{-21} = 3{,}7 \,.\, 10^{3} \text{ joule}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

2 mol gas argon memiliki suhu $127^{O}C$. Tentukan :

a. Energi kinetik rata-rata
b. Energi dalam gas.

b. Kecepatan efektif

Setiap partikel pada gas memiliki energi kinetik dan untuk gas ideal energi kinetik rata-ratanya memenuhi persamaan 8.7. Bagaimana dengan kecepatannya, apakah bisa diukur atau bisa dihitung? Jawabnya dapat diperhatikan dari definisi energi kinetik itu sendiri, $\overline{Ek} = \frac{1}{2} mv^2$. Dari hubungan ini dapat diturunkan seperti berikut.

$$\overline{Ek} = \frac{3}{2} kT$$

$$\frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\overline{v^2} = \frac{3kT}{m}$$

$\overline{v^2}$ adalah nilai rata-rata kecepatan partikel kuadrat. Jika diakarkan akan mendapatkan nilai yang dinamakan road mean square velsiti (v_{rms}). Nilai akar rata-rata kuadrat dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai nilai efektif. Jadi v_{rms} = v_{ef} dan besarnya memenuhi:

$$v_{ef} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \qquad \text{..................................(8.9)}$$

dengan : v_{ef} = kecepatan efektif partikel
T = suhu gas (K)
m = massa partikel (kg)
k = $1,38 . 10^{-23}$ J/K

Nilai v_{ef} itu juga dapat disubstitusikan nilai

k = $\frac{R}{N_o}$

dan mNo = Mr. Jika nilai ini disubstitusikan ke persamaan 8.9 dapat diperoleh persamaan berikut.

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}} \quad \text{.....................................(8.10)}$$

CONTOH 8.4

Tentukan perbandingan kecepatan efektif partikel-partikel gas helium (Mr = 4 gr/mol) pada suhu 27^{O}C dan kecepatan efektif partikel-partikel gas neon (Mr = 10 gr/mol) pada suhu 127^{O}C!

Penyelesaian

Mr (He) = 4 gr/mol
T (He) = 27^{O}C + 273 = 300 K
Mr (Ne) = 10 gr/mol
T (Ne) = 127^{O}C + 273 = 400 K
R = 8,314 jmol^{-1}k^{-1}

Untuk gas He :

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}}$$

$$= \sqrt{\frac{3.8,314.300}{4}} = \sqrt{1870,65} = 43,25 \text{ m/s}$$

Untuk gas Neon :

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}}$$

$$= \sqrt{\frac{3.8,314.400}{10}} = \sqrt{997,68} = 31,58 \text{ m/s}$$

Berarti perbandingannya :

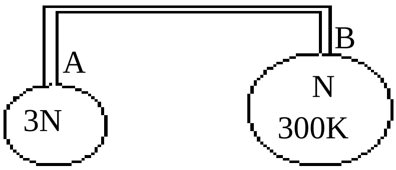
$$\frac{v_{ef^1}}{v_{ef^2}} = \frac{43,25}{31,58} = 1,37$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Partikel-partikel gas ideal ada suhu 27^{O}C memiliki kecepatan efektif 200 m/s. Berapakah suhu gas ideal tersebut agar kecepatan efektif partikelnya menjadi 400 m/s?

ATIHAN 8.1

1. Gas dalam silinder tertutup suhunya 27^oC saat tekanannya 78 cmHg. Jika suhunya dinaikkan menjadi 127^oC maka berapakah tekanannya sekarang?
2. Gas dalam ruang tertutup bertekanan 7 atm dan suhunya 42^oC memiliki volume 8 liter. Jika tekanan gas dijadikan 8 atm dan suhu 87^oC maka tentukan volumenya saat ini !
3. Gelembung udara dengan volume 3 mm^3 dilepas dari dasar danau sedalam 20m. Andaikan suhu di kedalaman itu – 3 ^oC dan suhu di permukaan 27^oC, maka berapakah volume gelembung ketika sampai dipermukaan ? (Tekanan udara luar = 10^5 N/m^2 , g = 10 m/s^2)
4. Diketahui volume tabung B dua kali volume tabung A, keduanya terisi gas ideal. Volume tabung penghubung dapat diabaikan. Gas A berada pada suhu 300 K. Bila jumlah molekul dalam A adalah N dan jumlah molekul B adalah 3N, maka tentukan suhu gas dalam B !



5. Rapat massa suatu gas ideal pada suhu T dan tekanan P adalah p. Jika tekanan gas tersebut dijadikan 1,5P dan suhunya diturunkan menjadi 0,3T maka berapakah rapat massa gas dalam keadaan terakhir ini?
6. Sebuah tangki bervolume 8314 Cm^3 berisi gas oksigen (berat molekul 32 kg/kmol) pada suhu 47^oC dan tekanan alat 25 . 10^5 Pa. Jika tekanan udara luar 1 x 10^5 Pa, maka hitunglah massa oksigen !
7. Sebuah tabung yang volumenya 1 liter mempunyai lubang yang memungkinkan udara keluar dari tabung. Mula-mula suhu udara dalam tabung 27^oC. Tabung dipanaskan hingga suhunya 127^oC. Tentukan perbandingan antara massa gas yang keluar dari tabung dan massa awalnya!
8. Gas dalam tabung yang suhunya 27^oC dipanaskan pada volume tetap, hingga kecepatan rata-rata partikel gas menjadi $\sqrt{2}$ kali semua. Berapakah kenaikan suhu gas tersebut ?
9. Gas neon (Ne) adalah gas monoatomik. Jika suhunya 27 ^oC. Jika ada dua gram gas neon (M = 10 gr/mol) maka tentukan:
   a. energi kinetik rata-rata partikel,
   b. energi dalam gas !

B. Hukum I Termodinamika

1. Hukum I Termodinamika

Apa yang kalian perkirakan akan terjadi jika sejumlah gas dalam suatu ruang tertutup dipanaskan? Keadaan yang langsung bisa dilihat suhunya naik dan mungkin volumenya bertambah. Kejadian inilah yang dijelaskan pada hukum I Termodinamika.

"Pada saat gas dalam ruang tertutup diberi kalor maka kalor tersebut akan dimanfaatkan untuk melakukan usaha dan merubah energi dalamnya."

Hubungan di atas dapat dinamakan kekekalan energi dan dituliskan sebagai berikut.

$$Q = W + \Delta U \quad \text{.......................................(8.11)}$$

dengan Q = perubahan kalor sistem
W = usaha sistem
ΔU = perubahan energi dalam

Sesuai persamaan 8.11 maka untuk gas ideal monoatomik berlaku persamaan berikut.

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$\text{atau } \Delta U = \frac{3}{2} N k \Delta T \quad \text{..................(8.12)}$$

CONTOH 8.5

Kedalam sejumlah gas dialirkan kalor sebesar 300 joule. Kemudian gas dikenai kerja 120 joule. Berapakah perubahan energi dalam gas?

Penyelesaian

Q = 300 joule (menyerap)
W = -120 joule (dikenai kerja)

Perubahan energi dalamnya memenuhi :

$$Q = W + \Delta U$$
$$300 = -120 + \Delta U$$
$$\Delta U = 420 \text{ joule}$$

berarti energi dalamnya naik.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

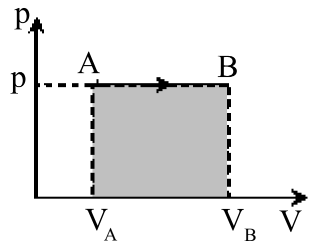
Dari dalam gas diserap kalor sebesar 1205 joule. Sehingga energi dalamnya turun 1000 joule. Tentukan usaha yang dilakukan gas.

2. Proses-proses termodinamika

Proses termodinamika adalah perubahan keadaan gas, yaitu tekanan, volume dan suhunya. Perubahan ini diiringi dengan perubahan kalor, usaha dan energi dalamnya. Proses-proses yang memiliki sifat-sifat khusus ada empat contoh seperti berikut.

a. Proses Isobarik

Proses isobarik adalah proses perubahan gas dengan tahanan tetap. Pada garis P - V proses isobarik dapat digambarkan seperti pada *Gambar 8.5*. Usaha proses isobarik dapat ditentukan dari luas kurva di bawah grafik P - V.



Gambar 8.5
Proses Isobarik

$$W = P\,(V_B - V_A) \quad ....(8.13)$$

CONTOH 8.6

Sejumlah gas ideal mengalir proses isobarik pada tekanan 2 atm. Jika volumenya berubah dari 1,5 lt menjadi 2 lt maka tentukan:

a. usaha gas,
b. pembentukan energi dalam,
c. kalor yang diserap gas!

Penyelesaian

$P = 2$ atm $= 2.10^5$ Pa
$V_A = 1,5$ lt $= 1,5 \,.\, 10^{-3}\,m^3$
$V_B = 2$ lt $= 2 \,.\, 10^{-3}\,m^3$

a. Usaha gas memenuhi:

$$W = P\,(V_B - V_A)$$
$$= 2 \,.\, 10^5 \,.\, (2.10^{-3} - 1,5.10^{-3})$$
$$= 100 \text{ joule}$$

b. Perubahan energi dalam sebesar:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\, n\, R\, \Delta T$$
$$= \frac{3}{2}\,(n\,R\,T_B - n\,R\,T_A)$$
$$= \frac{3}{2}\,(P_B V_B - P_A V_A)$$
$$= \frac{3}{2}\,(2.10^5 \,.\, 2.10^{-3} - 2.10^5 \,.\, 1,5.10^{-3})$$
$$= \frac{3}{2}\,(100) = 150 \text{ joule}$$

c. Kalor yang diserap gas memenuhi:

$$Q = W + \Delta U$$
$$= 100 + 150 = 250 \text{ joule}$$

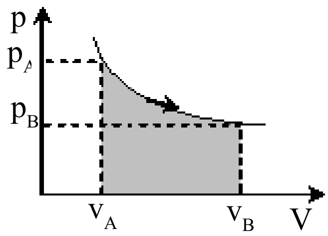
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Gas ideal dalam wadah memiliki tekanan 1,5 atm dan volume 10 lt. Pada saat gas menyerap kalor ternyata volumenya menjadi 12 lt dan tekanan tetap. Tentukan kalor yang diserap gas tersebut!

b. Proses Isotermis

Proses isotermis adalah proses perubahan gas dengan suhu tetap. Perhatikan gra□k pada *Gambar 8.6*. Pada proses ini berlaku hukum Boyle.

$$P_A V_A = P_B V_B \quad \text{..................................(8.14)}$$



Gambar 8.6
Proses Isotermis

Karena suhunya tetap maka pada proses isotermis ini tidak terjadi perubahan energi dalam $\Delta U = 0$. Sedang usahanya dapat dihitung dari luas daerah di bawah kurva, besarnya seperti berikut.

$$W = n\,R\,T\,Pn\,\frac{V_B}{V_A} \quad \text{...............................(8.15)}$$

Coba kalian buktikan secara matematis.

CONTOH 8.7

1. Gas ideal yang volumenya 1,25 liter dan tekanan 3,2 atm. Jika gas menyerap kalor pada suhu tetap dan tekanannya menjadi 2,5 atm maka berapakah volume gas sekarang?

   Penyelesaian

   P_A = 3,2 atm , V_B = 1,25 liter

   P_B = 2,5 atm , V_B = ?

   Pada proses isotermis berlaku:

   $P_B V_B = P_A V_A$

   $2,5 \,.\, V_B = 3,2 \,.\, 1,25$

   $V_B = 1,6$ liter

2. Tiga mol gas ideal menyerap kalor 225 joule. Kemudian gas melakukan kerja pada suhu tetap. Berapakah kerja yang dilakukan gas?

Penyelesaian

Suhu tetap = proses isotermis

$\Delta U = 0$

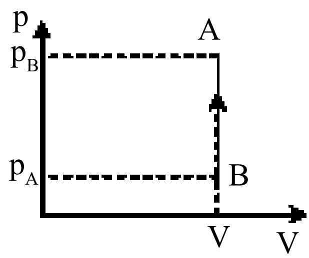
Q = 225 joule

Berarti usaha gas memenuhi:

$Q = W + \Delta U$

$225 = W + 0$

$W = 225$ joule



Gambar 8.7
Proses Isokhoris

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

10 mol gas helium dapat menyerap kalor dari luas sebesar 1.02 kj untuk mengubah volumenya pada suhu tetap. Berapakah usaha yang dilakukan gas?

c. Proses Isokhoris

Proses isokhoris adalah proses perubahan gas dengan volume tetap. Pada grafik P.V dapat digambarkan seperti pada *Gambar 8.7*. Karena volumenya tetap berarti usaha pada gas ini nol, W = 0. Untuk lebih jelasnya dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 8.8

10 mol gas helium disimpan dalam tabung tertutup, volume 2 lt tetap memiliki tekanan $1{,}2.10^6$Pa. Jika gas menyerap kalor sehingga tekanan menjadi 2.10^6Pa maka tentukan:

a. perubahan energi dalam,
b. kalor yang diserap gas!

Penyelesaian

$V = 2\text{ lt} = 2.10^{-3}\text{m}^3$
$P_A = 1{,}2.10^6\text{Pa}$
$P_B = 2.10^6\text{Pa}$

a. Perubahan energi dalam sebesar:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\, n\, R\, \Delta T$$

$$= \frac{3}{2}\,(n\, R\, T_B - n\, R\, T_A)$$

$$= \frac{3}{2}\,(P_B V_B - P_A V_A)$$

$$= \frac{3}{2}\,(2.10^6 \,.\, 2.10^{-3} - 1{,}2.10^6 \,.\, 2.10^{-3})$$

$$= \frac{3}{2}\,(400 - 240) = 240 \text{ joule}$$

b. Kalor yang diserap:

$Q = W + \Delta U$

$Q = 0 + 240 = 240$ joule

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

5 mol gas ideal memiliki suhu 27^{O}C. Kemudian kalor dialirkan kedalam gas sehingga suhunya menjadi 67^{O}C. R = 8,314 J/K. Tentukan:

a. perubahan energi dalam,

b. kalor yang diserap gas.

d. Adiabatis

Pada proses isotermis sudah kalian ketahui $\Delta U = 0$ dan pada proses isokoris, W = 0. Bagaiaman jika terjadi proses termodinamika tetapi Q = 0 ? Proses yang inilah yang dinamakan proses adiabatis. Berdasarkan hukum I Termodinamika maka proses adiabatis memiliki sifat dibawah.

$$Q = 0$$

$$W = -\Delta U \quad \text{.....................................(8.16)}$$

CONTOH 8.9

2 mol gas ideal memiliki suhu 37^{O}C ternyata tanpa ada perubahan kalor pada sistem gas suhunya naik menjadi 62^{O}C. R = 8,314 J/K. Berapakah:

a. perubahan energi dalamnya,

b. usaha sistem gas!

Penyelesaian

n = 2 mol

T_1 = 37^{O}C

T_2 = 62^{O}C

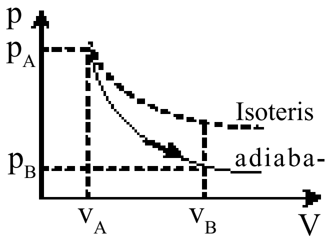
R = 8,314 J/K

a. Perubahan energi dalamnya memenuhi:

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$= \frac{3}{2} .2.8,314 . (62^o - 37^o)$$

$$= 623,66 \text{ Joule}$$

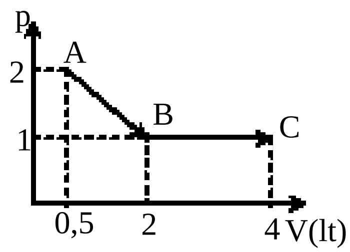


Gambar 8.8
Proses adiabatis

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

2 gr gas helium (Mr He = 4 gr/mol) bersuhu $77^{O}C$ tiba-tiba turun suhunya menjadi $27^{O}C$ tanpa proses perubahan kalor sistem. Tentukan usaha yang lakukan sistem?

e. Proses lain dan gabungan proses



Gambar 8.9

Proses-proses selain 4 proses ideal diatas dapat terjadi. Untuk memudahkan penyelesaian dapat digambarkan grafik P - V prosesnya. Dari grafik tersebut dapat ditentukan usaha proses sama dengan luas kurva dan perubahan energi dalamnya $\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$.

Sedangkan gabungan proses adalah gabungan dua proses adiabatis yang berkelanjutan. Pada gabungan proses ini berlaku hukum I termodinamika secara menyeluruh.

CONTOH 8.10

Sejumlah gas ideal mengalami proses ABC seperti *Gambar 8.9.* tentukan:

a. usaha total proses,
b. perubahan energi dalam total,
c. perubahan kalor sistem!

Penyelesaian

a. Usaha total proses dapat ditentukan dari luas kurva.

W = luas AB (trapesium) + luas BC (persegi panjang)

$$= \frac{1}{2}(2+1) \times 10^{5} (2-0,5) \times 10^{-3} + (4-2) \times 10^{5}$$

= 225 + 200 = 425 joule

b. Perubahan energi dalam.

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$= \frac{3}{2}(n\,R\,T_c - n\,R\,T_A)$

$= \frac{3}{2}(P_cV_c - P_AV_A)$

$= \frac{3}{2}(1.4.10^2 - 2.0{,}5.10^2)$

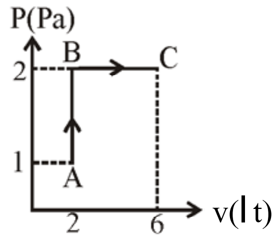
$=$ 450 joule

c. penentuan kalornya:

$Q = W + \Delta U$

$= 425 + 450 = 875$ joule

Q(+) berarti menyerap kalor.



Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perhatikan proses ABC pada gra□k P - V disamping. Tentukan kalor yang diserap sistem gas tersebut!

ATIHAN 8.2

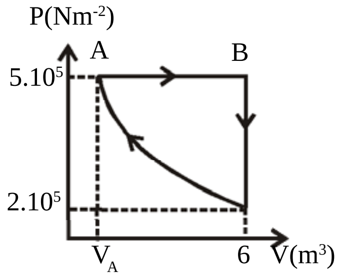
1. Dua jenis gas ideal mempunyai energi dalam mula-mula yang sama besar. Pada masing-masing gas tersebut dialirkan panas sebesar 250 J. Jika pada gas ideal pertama dilakukan kerja sebesar 400 J, sedangkan pada gas ideal kedua melakukan kerja sebesar 300 J, maka setelah proses selesai, tentukan selisih antara energi dalam gas ideal pertama dengan energi gas ideal kedua?

2. $1{,}5\,m^3$ gas helium yang bersuhu 27^OC dipanaskan secara isobarik sampai 87^OC. Jika tekanan gas helium $2 \times 10^5\,N/m^2$, maka tentukan usaha yang dilakukan gas helium!

3. Sepuluh mol gas ideal menempati suatu silinder berpengisap tanpa gesekan, mula-mula mempunyai suhu T. Gas tersebut kemudian dipanaskan pada tekanan konstan sehingga volumenya menjadi 3 kali lebih besar. Bila R adalah tata pan gas universal, maka berapakah besarnya usaha yang telah dilakukan oleh gas untuk menaikkan volumenya tadi?

4. Pada 2,8 gram gas nitrogen dilakukan proses isokhoris sehinggga temperaturnya berubah dari 20^0 C menjadi 70^OC. Berapakah perubahan energi dalam dari gas tersebut? (c_v = 4,9 kal/mol K; c_p = 6,9 kal/mol K)

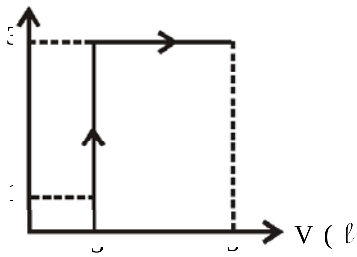
5. Tiga mol gas helium mengalami proses seperti gambar. Gas menjalani proses C ke A tanpa terjadi perubahan energi dalam, maka hitunglah volume saat di A (V_A)!



6. Sejumlah gas ideal dengan massa tertentu mengalami pemampatan secara adiabatik. Jika W adalah kerja yang dilakukan oleh sistem (gas) dan DT adalah perubahan suhu dari sistem, maka tentukan nillai dari W dan DT itu!

7. Suatu sistem mengalami proses adiabatik. Pada sistem dilakukan usaha 255 J. jika perubahan energi dalam sistem itu DU dan kalor yang diserap sistem adalah Q, maka tentukan nilai DU dan Q!

8. Gas menjalani proses A-B-C. Tentukan kalor yang dibutuhkan untuk proses tersebut!

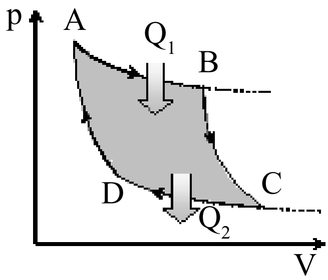


C. Siklus Carnot dan Mesin Kalor

1. Siklus Carnot

Pada saat belajar termodinamika kalian akan menemui gabungan proses-proses yang akan kembali ke keadaan semula atau siklus yang dinamakan *siklus Carnot*. Siklus Carnot inilah yang dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat mesin kalor.

Siklus Carnot terdiri atas empat proses yaitu 2 proses adiabatis dan 2 proses isotermis lihat *Gambar 8.10*. AB dan CD adalah proses isotermis. Sedangkan BC dan DA adalah proses adiabatis. Pada proses AB proses menyerap kalor Q_1 dan saat proses CD melepas kalor sisa Q_2. Selama siklus terjadi dapat menghasilkan usaha. Dan berlaku hubungan seperti persamaan berikut.



Gambar 8.10
Siklus Carnot

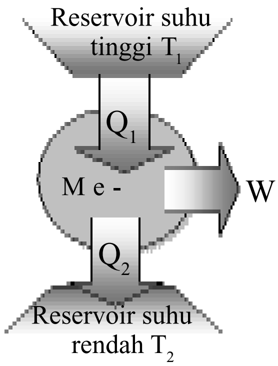
$$Q_1 = W + Q_2$$

atau $$W = Q_1 - Q_2 \qquad \text{.......................(8.17)}$$

2. Mesin Kalor

Dari siklus Carnot diatas untuk kemudian dapat dibuat suatu mesin yang dapat memanfaatkan suatu aliran kalor secara spontan sehingga dinamakan *mesin kalor*. Perhatikan mesin kalor pada *Gambar 8.11*.

Sesuai dengan siklus carnot maka dapat dijelaskan prinsip kerja mesin kalor. Mesin kalor menyerap kalor dari reservois bersuhu tinggi T_1 sebesar Q_1. Mesin menghasilkan kerja sebesar W dan membuang sisa kalornya ke reservois bersuhu rendah T_2 sebesar Q_2. Hubungan Q_1, W dan Q_2 sesuai persamaan 8.17.



Gambar 8.11
Model mesin kalor.

Dari penjelasan diatas terlihat bahwa tidak ada sebuah mesin yang memanfaatkan semua kalor yang diserap Q_1 untuk melakukan kerja W. Pasti selalu ada yang terbuang. Artinya setiap mesin kalor selalu memiliki *efisiensi*. E□siensi mesin kalor ini dide□nisikan sebagai berikut.

$$ç = \frac{W}{Q_1} \times 100\% \qquad \text{...............................(8.18)}$$

Jika disubstitusikan nilai W dari persamaan 8.17 dapat diperoleh persamaan berikut.

$$ç = \left(\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

$$ç = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\% \qquad \text{.......................(8.19)}$$

CONTOH 8.11

Sebuah mesin kalor menyerap kalor dari reservois 1000 K sebesar 250 kal. Kemudian membuang usahanya ke reservois bersuhu 300 K sebesar 100 kal. Tentukan efisiensi mesin kalor tersebut!

Penyelesaian

T_1 = 1000 K $\rightarrow$ Q_1 = 250 kal
T_2 = 300 K $\rightarrow$ Q_2 = 100 kal
Efisiensi mesin memenuhi:

$$ç = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \text{ x } 100\ \%$$

$$= \left(1 - \frac{100}{250}\right) \text{ x } 100\ \% = 60\%$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.
Sebuah mesin kalor membuang kalor sisa pembakarannya sebesar 350 kal ke reservois suhu rendah. Jika efisiensi mesin tersebut sebesar 45 % maka tentukan usaha yang dihasilkan mesin tersebut!

Efisiensi Maksimum

Siklus Carnot merupakan model mesin kalor yang ideal. Apakah sifat-sifatnya? Pada mesin ideal ini kalornya sebanding dengan suhu.

$$Q \sim T$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Dari hubungan tersebut dapat ditentukan efisiensi mesin ideal, yang berarti efisiensi itu merupakan efisiensi maksimum. Efisiensi maksimum dari mesin carnot tersebut sebagai berikut.

$$ç = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \text{ x } 100\% \qquad \text{..........................(8.20)}$$

CONTOH 8.12

Sebuah mesin carnot menyerap kalor dari tempat bersuhu 227^{O}C dan membuangnya pada tempat bersuhu 27^{O}C. Mesin tersebut mampu menyerap kalor 2.10^5 joule tiap setengah menitnya. Tentukan:

a. e□siensi mesin,
b. usaha yang dihasilkan mesin,
c. daya mesin!

Penyelesaian

T_1 = 227^{O}C + 273 = 500 K
T_2 = 27^{O}C + 273 = 300 K
Q_1 = 2.105 joule
t = 0,5 menit = 30 s.

a. E□siensi mesin carnot memenuhi e□siensi maksimum.

$$ç = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \text{x } 100\ \%$$

$$= \left(1 - \frac{300}{500}\right) \text{x } 100\ \% = 40\ \%.$$

b. Usaha yang dihasilkan mesin.

$$ç = \frac{W}{Q} \ .\ 100\ \%$$

$$40\% = \frac{W}{2.10^5} \ .\ 100\%$$

$$W = 0{,}4\ .\ 2.10^5 = 8.10^4 \text{ joule}$$

c. Daya mesin adalah:

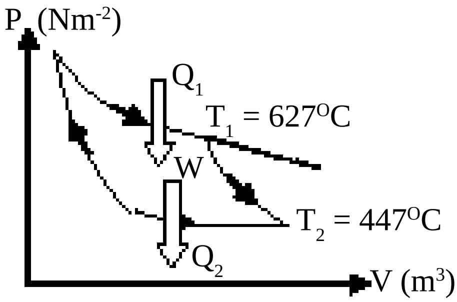
$$P = \frac{W}{t} = \frac{8.10^4}{30} = 2{,}67\ .\ 10^3 \text{ watt}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Mesin carnot bekerja pada dua reservois bersuhu 127^{O}C dan -23^{O}C. Setiap menit mesin tersebut membuang kalornya sebesar 4.10^4 joule. Tentukan:
a. e□siensi mesin,
b. usaha yang dihasilkan mesin,
c. daya mesin!

LATIHAN 8.3

1. Coba jelaskan kembali tentang proses-proses pada siklus Carnot ! Proses manakah sistem akan menyerap dan melepas kalor ? dan pada proses manakah sistem akan menghasilkan usaha?
2. Sebuah mesin tidak mungkin memiliki efisiensi 100 %. Jelaskan mengapa bisa demikian?
3. Suatu mesin menerima 1250 kalori dari sebuah reservoir bersuhu 400 K, dan melepaskan 1200 kalori ke sebuah reservoir lain yang suhunya 320 K. Berapakah efisiensi mesin itu?
4. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi 727^o C mempunyai efisiensi 30 %, maka tentukan suhu pada reservoir suhu rendahnya!
5. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi 800 K mempunyai efisiensi 20 %. Untuk menaikkan efisiensi menjadi 36 % maka berapakah suhu reservoir kalor suhu tinggi harus dinaikkan?
6. Sebuah mesin Carnot bekerja diantara dua reservoir panas 487^o C dan reservoir dingin 107^OC. Jika mesin tersebut menyerap kalor 800 J dari reservoir panas, maka jumlah kalor yang dibuang dari mesin adalah ….
7. Suatu mesin carnot yang bekerja antara suhu 27^OC dan 227^OC digunakan untuk menggerakkan sebuah generator yang tegangan keluarnya 220 V. Jika setiap detik, mesin Carnot itu menyerap kalor 5500 J, maka berapakah kuat arus keluaran maksimum generator?
8. Perhatikan gambar siklus Carnot di bawah ini!



Jika usaha yang dilakukan 2 x 10^4 J, maka berapakah kalor yang dilepas (Q_2)?

Rangkuman Bab 8

1. Pada suatu gas tertutup berlaku:
   a. Hukum Boyle-Guy Lussac

   $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

   b. Persamaan umum gas
   PV = nRT atau PV = NkT
   R = tetapan umum gas; 8,314 J/mol^{-1}K^{-1}
   k = tetapan Boltzmann; 1,38.10^{-23} J/K
2. Pada azas Ekmipartisi menjelaskan
   a. Energi kinetik rata-rata partikel gas ideal:

   $$\overline{Ek} = f(\frac{1}{2}kT)$$

   b. Untuk gas monoatomik: $\overline{Ek} = \frac{3}{2}kT$

   c. Kecepatan efektif partikel sebesar: $v_{ef} = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$
   atau $v_{ef} = \sqrt{\frac{3RT}{Mr}}$
3. Pada suatu sistem gas berlaku hukum I Termodinamika yaitu hukum kekekalan energi panas (kalor)

   $$Q = W + \Delta U \text{ dan } \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \text{ atau } \Delta U = \frac{3}{2} N k \Delta T$$

4. Proses ideal termodinamika:
   a. Proses Isobarik
   - P = tetap
   - W = PΔ V
   - Q = W + ΔU

   b. Proses isotermis
   - T = tetap
   - ΔU = 0
   - $P_1V_1 = P_2V_2$
   - W = n RT Pn $\frac{V_2}{V_1}$
   - Q = W

   c. Proses Isokhoris
   - V = tetap
   - W = 0
   - Q = ΔU

   d. Proses Adiabatis
   - Q = 0
   - W = ΔU

   e. Proses sembarang (lain)
   - W = luas kurva
5. Mesin kalor adalah mesin yang memanfaatkan aliran kalor dari suhu tinggi ke suhu rendah secara spontan untuk menghasilkan usaha. E□siensinya:

   $$ç = \frac{W}{Q_1} \text{ x } 100\% \text{ atau } ç = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \text{ x } 100\%$$

6. Mesin Carnot memiliki e□siensi maksimum dan merupakan mesin ideal.

   $$Q \sim T \rightarrow ç = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \text{ x } 100\%.$$

Evaluasi Bab

1. Berikut yang merupakan ciri gas ideal adalah:
   A. Dalam geraknya partikel-partikel tidak memenuhi hukum newton tentang gerak.
   B. Selalu terjadi tumbukan antar molekul-molekul secara lenting sebagian.
   C. Antar partikel tidak terjadi tarik-menarik
   D. Massa partikel dapat dianggap nol
   E. Terdiri dari partikel yang selalu bergerak.
2. Jika isi suatu gas yang memenuhi hukum Boyle dijadikan setengahnya, maka tekanan menjadi dua kalinya. Hal ini disebabkan oleh karena ....
   A. molekul-molekul merapat sehingga kerapatannya menjadi dua kali.
   B. molekul-molekul bergetar dua kali lebih cepat
   C. molekul-molekul beratnya menjadi dua kali
   D. banyaknya molekul menjadi dua kali
   E. energi kinetik molekul-molekul menjadi dua kali.
3. Suatu gas yang suhunya 127^{O}C dipanaskan menjadi 227^{O}C pada tekanan tetap. Volume gas sebelum dipanaskan adalah V. Volume gas setelah dipanaskan adalah ....
   A. 1/3 V
   B. 1/2 V
   C. 5/4 V
   D. 3/2 V
   E. 2 V
4. Suatu gas berada dalam ruang tertutup dengan volume 5 lt, tekanan 1 atm dan suhu 87^{O}C. Bila volume dijadikan 1/2 nya dan suhu diturunkan menjadi 27^{O}C, maka tekanan gas berubah menjadi ... kali.
   A. 5/3
   B. 3/2
   C. 3/4
   D. 2/4
   E. 3/5
5. Persamaan ke...n gas ideal ditulis dalam bentuk $\frac{PV}{T}$ = bilangan tetap, yang bergantung pada ....
   A. jenis gas
   B. suhu gas
   C. tekanan gas
   D. volume gas
   E. banya partikel
6. Sebuah tangki bervolume 8314 cm^3 berisi gas oksigen (berat molekul 32 kg/kmol) pada suhu 47^{O}C dan tekanan alat 25 . 10^5 Pa. Jika tekanan udara luar 1 x 10^5 Pa, maka massa oksigen adalah ....
   A. 0,24 kg
   B. 0,25 kg
   C. 0,26 kg
   D. 0,4 kg
   E. 0,5 kg
7. Rapat massa suatu gas ideal pada suhu T dan tekanan P adalah ρ. Jika tekanan gas tersebut dijadikan 1,5P dan suhunya diturunkan menjadi 0,3T maka rapat massa gas dalam keadaan terakhir ini adalah ....
   A. 0,3ρ
   B. 0,7ρ
   C. 3ρ
   D. 5ρ
   E. 7ρ
8. Gas berada dalam tabung yang berlubang sehingga memungkinkan gas keluar dari tabung. Jika suhu jadikan 227^{O}C dari suhu 27^{O}C, maka massa yang keluar dari tabung adalah ....
   A. 2/5 dari massanya awal
   B. 3/5 dari massanya awal
   C. 1/2 dari massanya awal
   D. 3/4 dari massanya awal
   E. 1/4 dari massanya awal
9. Jika konstanta Boltzmann k = 1,38 x 10^{-23} J/K, maka energi kinetik sebuah atom gas helium pada suhu 127^{O}C adalah ....
   A. 4,12 x 10^{-21} joule
   B. 2,07 x 10^{-21} joule
   C. 5,59 x 10^{-21} joule
   D. 8,28 x 10^{-21} joule
   E. 12,42 x 10^{-21} joule
10. Gas dalam tabung yang suhunya 27^{O}C dipanaskan pada volume tetap, hingga kecepatan rata-rata partikel gas menjadi dua kali semula. Berarti kenaikan suhu gas tersebut sebesar ....
    A. 27^{O}C
    B. 300^{O}C
    C. 600^{O}C
    D. 900^{O}C
    E. 1200^{O}C

11. Seorang pelari melakukan usaha $2{,}5.10^5$ J dalam suatu latihan rutin. Sedangkan energi dalamnya berkurang $6{,}510^5$ J, maka dalam latihan itu orang tersebut ….
    A. Menyerap kalor $4{,}0 \times 10^5$ J
    B. Mengeluarkan kalor $4{,}0 \times 10^5$ J
    C. Menyerap kalor $9{,}0 \times 10^5$ J
    D. Mengeluarkan kalor $9{,}0 \times 10^5$ J
    E. Mengeluarkan kalor $2{,}5 \times 10^5$ J

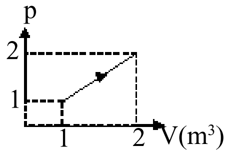
12. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut!
    (1) Pada proses isokhorik, gas tidak melakukan usaha
    (2) Pada proses isobarik, gas selalu mengembang
    (3) Pada proses adiabatik, gas selalu mengembang
    (4) Pada proses isotermik, energi dalam gas tetap
    Pernyataan yang sesuai dengan konsep termodinamika adalah ....
    A. 1 dan 2 D. 2, 3 dan 4
    B. 1, 2 dan 3 E. 3 dan 4
    C. 1 dan 4

13. Suatu gas volumenya 1,5 m^3 perlahan – perlahan dipanaskan pada tekanan tetap hingga volumenya menjadi 2 m^3. Jika usaha luar gas tersebut $1{,}5 \times 10^5$ Joule, maka tekanan gas adalah ….
    A. 6×10^5 Nm^{-2} D. 5×10^5 Nm^{-2}
    B. 2×10^5 Nm^{-2} E. 3×10^5 Nm^{-2}
    C. $1{,}2 \times 10^5$ Nm^{-2}

14. Suatu sistem melepaskan panas 200 kalori tanpa melakukan usaha luar, maka perubahan energi dalam sistem tersebut sebesar ....
    A. –840 J D. 47,6 J
    B. –480 J E. 470 J
    C. –48 J

15. Gas ideal dalam suatu ruangan mengalami proses pemuaian secara adiabatik. Pada proses ini ….
    A. dibutuhkan kalor untuk usaha kuat
    B. dibutuhkan kalor untuk tambahan energi dalam
    C. tekanan gas ideal bertambah
    D. suhu gas ideal naik
    E. suhu gas ideal turun

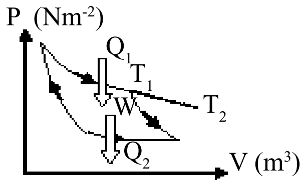
16. Grafik berikut memberi hubungan antara tekanan (P) dan volume (V) dari jumlah massa gas ideal. Dari grafik tersebut, kalor yang dibutuhkan gas selama proses adalah ….
    A. 1,5 joule
    B. 2,1 joule
    C. 3,5 joule
    D. 4,0 joule
    E. 6,0 joule



17. Sebuah mesin kalor Carnot bekerja diantara dua reservoir bersuhu 527^0 C dan 127^0 C. Apabila reservoir suhu tinggi diturunkan menjadi 227^0 C, maka efi siensi mula-mula dan terakhir masing-masing adalah ….
    A. 30% dan 20%
    B. 40% dan 20%
    C. 50% dan 20%
    D. 50% dan 30%
    E. 60% dan 40%

18. Suatu mesin kalor Carnot dengan efisiensi 60% dioperasikan antara 2 reservoir kalor, reservoir bersuhu rendah 27^0 C. Agar mesin Carnot tersebut daya gunanya menjadi 80%, maka diperlukan kenaikan suhu reservoir kalor bersuhu tinggi sebesar ….
    A. 50 K D. 500 K
    B. 150 K E. 750 K
    C. 250 K

19. Perhatikan gambar siklus Carnot di bawah ini!



T_1 = 900 K, T_2 = 720 K, W = 4×10^4 J. Kalor yang dilepas (Q_2) adalah ….
    A. $1{,}0 \times 10^5$ joule
    B. $1{,}2 \times 10^5$ joule
    C. $1{,}6 \times 10^5$ joule
    D. $7{,}2 \times 10^5$ joule
    E. $9{,}0 \times 10^5$ joule

20. Sebuah mesin Carnot bekerja pada suhu antara 800 K dan 450 K, serta membuang energi panas sebesar 1 kJ setiap siklusnya. Usaha mesin setiap siklusnya adalah ….
    A. 0,79 kJ. D. 1,72 kJ.
    B. 1,00 kJ. E. 2,05 kJ.
    C. 1,43 kJ.

Glosarium

Adiabatik : proses perubahan suatu sistem gas tanpa adanya kalor yang diserap atau dilepas

Debit : laju aliran fluida, dirumuskan perkalian luas penampang dengan kecepatannya

Deferensial : limit perubahan besaran sesaat tiap satu satuan waktu untuk selang waktu mendekati nol

Derajat kebebasan : bagian dari setiap gerak yang dapat menyumbangkan energi

Diatomik : gas yang senyawanya mengandung dua atom

Efisiensi : perbandingan hasil perubahan energi yang diharapkan dengan sumber energi

Elastis : mudah berubah bentuk atau ukurannya dan mudah kembali ke keadaan semula

Elevasi : sudut kemiringan dari arah gerak parabola terhadap horisontal

Fluida : zat yang dapat mengalir

Frekuensi : banyaknya getaran yang terjadi tiap satu detik

Gaya konservatif : gaya yang dapat menyebabkan terjadinya kekekalan energi mekanik

Impuls : hasil kali gaya yang bekerja dengan selang waktu gaya bekerja

Integral : anti turunan atau anti deperensial

Isobarik : proses perubahan suatu sistem gas pada tekanan tetap

Isokorik : proses perubahan suatu sistem gas pada volume tetap

Isotermis : proses perubahan suatu sistem gas pada suhu tetap

Koefisien restitusi : koefisien kelentingan tumbukan dan dinyatakan sebagai nilai negatif perbandingan kecepatan relatif setelah dengan sebelum tumbukan

Kontinuitas : kekekalan debit suatu fluida

Medan gravitasi : daerah yang masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi

Momen inersia : suatu besaran yang tetap pada gerak rotasi, dirumuskan sebagai hasil kali antara massa dengan kuadrat jaraknya

Momentum linier : jumlah gerak, menyatakan hasil kali antara massa dengan kecepatannya

Momentum sudut : jumlah gerak yang dimiliki oleh benda yang bergerak rotasi

Monoatomik : gas yang senyawanya mengandung satu atom

Parabola : garis melengkung yang memenuhi fungsi kuadrat

Periode : waktu yang dibutuhkan untuk satu kali getaran

Reservoir : tempat penyimpanan barang cadangan (seperti air dan bahan bakar gas)

Siklus : gabungan proses-proses yang dapat kembali ke keadaan semula

Ketetapan Fisika

Besaran	Simbol	Nilai tetapannya
Kecepatan cahaya	(c)	3×10^8 m/s
Konstanta gravitasi	G	$6{,}67 \times 10^{-11}$ Nm²/mg²
Tetapan Stefan-Botzmann	(σ)	$5{,}67 \times 10^{-8}$ W/²K⁴
Tetapan Botzmann's	(k)	$1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K
Tetapan Avogadro	N_A	$6{,}022 \times 10^{23}$ mol⁻¹
Konstanta gas	$R = N_A k$	8,31 J/mol K
Hukum Coulomb's	$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$8{,}99 \times 10^9$ N m²/C²
Muatan elektron		$1{,}60 \times 10^{-19}$ C
Permitivitas vakum	ε_0	$8{,}85 \times 10^{-12}$ C/Nm²
Permeabilitas vakum	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ T m/A = $1{,}26 \times 10^{-6}$ T m/A
Tetapan planck's	h	$6{,}63 \times 10^{-34}$ J s
	$h = h/2\pi$	$1{,}05 \times 10^{-34}$ J s
Massa atom	u	$1{,}66 \times 10^{-27}$ kg $\leftrightarrow$ 931 MeV
Massa elektron	m_e	$9{,}10939 \times 10^{-31}$ kg = $5{,}94 \times 10^{-4}$ u $\leftrightarrow$ 0,511 MeV
Massa neutron	m_n	$1{,}67500 \times 10^{-27}$ kg = 1,008665 u $\leftrightarrow$ 939,57 MeV
Massa proton	m_p	$1{,}67565 \times 10^{-27}$ kg = 1,007267 u $\leftrightarrow$ 938,28 MeV

Konversi Satuan

1. Massa
   - 1 kg = 10^3 g
   - 1 g = 10^{-3} kg
   - 1 u = $1{,}66 \times 10^{-27}$ kg
   - 1 ton = 1000 kg
2. Panjang
   - 1 A = 10^{-10} m
   - 1 nm = 10^{-9} m
   - 1 cm = 10^{-2} m = 0,394 in
   - 1 m = 10^{-3} km = 3,28 ft = 39,4 in
   - 1 km = 10^3 = 0,621 mi
   - 1 in = 2,54 cm = $2{,}54 \times 10^{-2}$ m
   - 1 ft = 0,305 m = 30,5 cm
   - 1 pc (parsec) = $3{,}09 \times 10^{13}$ km
3. Luas
   - 1 cm² = 10^{-4} m² = 0,1550 in.² = $1{,}08 \times 10^{-3}$ ft²
   - 1 m² = 10^4 cm² = 10,76 ft² = 1550 in²
   - 1 in² = $6{,}94 \times 10^{-3}$ ft² = 6,45 cm² = $6{,}45 \times 10^{-4}$ m²
   - 1 ft² = 144 in.² = $9{,}29 \times 10^{-2}$ m² = 929 cm²
4. Volume
   - 1 cm³ = 10^{-6} m³ = $3{,}35 \times 10^{-5}$ ft³ = $6{,}10 \times 10^{-3}$ in³
   - 1 m³ = 10^6 cm³ = 10^3 L = 35,3 ft³ = $6{,}10 \times 10^4$ in.³ = 264 gal
   - 1 liter = 10^3 cm³ = 10^{-3} m³ = 0,264 gal
   - 1 in.³ = $5{,}79 \times 10^{-4}$ ft³ = 16,4 cm³ = $1{,}64 \times 10^{-5}$ m³
   - 1 ft³ = 1728 in.³ = 7,48 gal = 0,0283 m³ = 28,3 L
   - 1 gal = 231 in.³ = 0,134 ft³ = 3,785 L
5. Waktu
   - 1 jam = 60 min = 3600 s
   - 1 hari = 24 jam = 1440 min = 8,64 x 104 s
   - 1 tahun = 365 hari = $8{,}76 \times 10^3$ jam = 5,26 x 105 min = $3{,}16 \times 10^7$ s
6. Kecepatan
   - 1 m/s = 3,60 km/h = 3,28 ft/s = 2,24 mi/h
   - 1 km/h = 0,278 m/s = 0,621 mi/h = 0,911 ft/s
   - 1 ft/s = 0,682 mi/h = 0,305 m/s = 1,10 km/h
   - 1 mi/h = 1,467 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s
   - 60 mi/h = 88 ft/s
7. Gaya
   - 1 N = 0,225 lb
   - 1 lb = 4,45 N
   - 1 kg pada permukaan bumi = 2,2 lb = 9,8 N
   - 1 dyne = 10^{-5} N = $2{,}25 \times 10^{-6}$ lb
8. Tekanan
   - 1 Pa = 1 N/m² = $1{,}45 \times 10^{-4}$ lb/in.² = $7{,}5 \times 10^{-3}$ mm Hg
   - 1 mm Hg = 133 Pa = 0,02 lb/in.²
   - 1 atm = 14,7 lb/in.² = 101,3 Pa = 30 in.Hg = 760 mm Hg
   - 1 bar = 105 Pa = 100 kPa
9. Energi
   - 1 J = 0,738 ft lb = 0,239 cal = $9{,}48 \times 10^{-4}$ Btu = 6,24 x 1018 eV
   - 1 kkal = 4186 J = 3,968 Btu
   - 1 kal = 4,186 J = $3{,}97 \times 10^{-3}$ Btu = 3,09 ft lb
   - 1 ft lb = 1,36 J = $1{,}29 \times 10^{-3}$ Btu
   - 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J
   - 1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ J
   - 1 erg = 10^{-7} J = $7{,}38 \times 10^{-6}$ ft lb
10. Daya
    - 1 W = 1 J/s = 0,738 ft lb/s = $1{,}34 \times 10^{-3}$ hp = 3,41 Btu/h
    - 1 ft lb/s = 1,36 W = $1{,}82 \times 10^{-3}$ hp
    - 1 hp = 550 ft lb/s = 745,7 W = 2545 Btu/h

DAFTAR PUSTAKA

Poon B. Sc., Danny, Dip. Ed. 1996. *Living Physics, MC Problems For HKCEE*. Hongkong: Goodman Publisher.

Halliday, David. Resnick, Robert. 1996. *Fisika*. Jilid 1 &2 (terjemahan). Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.

Departemen Pendidikan Nasional. 1989 - 2005. *Soal-soal UMPTN dan SPMB Fisika*. Jakarta.

Departemen Pendidikan Nasional. 2003. *Silabus Kurikulum Berbasis Kompetensi Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah Untuk Mata Pelajaran:Fisika*. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

J. Bueche, Frederick. Ph. D. 1992. *Seri Buku Schaum, Teori dan Soal-soal Fisika*. Edisi Ketujuh (terjemahan). Jakarta: Erlangga.

Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Giancoli*. Jilid... (terjemahan). Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga.

Glencoe. 1999. *Glencoe* PHYSICS, *Priciples and Problems*. New York: Mc. Graw-Hill Companies.

Marcelo, Alonso. Edward, J. Finn. 1994. *Dasar-dasar Fisika Universitas*. Jilid... (terjemahan). Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.

Young, Hugh, D. Anf Freedman, Roger, A. 2004. *Sears and Zemansky's : University Physics*. San Fransisco: Pearson Education, Inc.

S. Walker, J. 2002. *Physics*. New Jersey : Prentice-Hall. Inc.

D., Ken, R. , Martins. 2002. *Physics*, 2nd Edition. United Kingdom : Melson Thornes Limited.

L, Peter. 2000. *Jendela IPTEK, Gaya dan Gerak*. Jakarta : Balai Pustaka.

Kunci Fisika SMA Kelas XI

Evaluasi Bab 1

1. C
3. E
5. E
7. D
9. E
11. D
13. B
15. D
17. E
19. D

Evaluasi Bab 2

1. C
3. B
5. B
7. E
9. E
11. C
13. C
15. E

Evaluasi Bab 3

1. D
3. C
5. E
7. E
9. C
11. D
13. B
15. D
17. C
19. C

Evaluasi Bab 4

1. B
3. C
5. A
7. A
9. B
11. B
13.B

Evaluasi Bab 5

1. E
3. D
5. A
7. B
9. E
11. A
13. D
15. A

Evaluasi Bab 6

1. C
3. B
5. C
7. D
9. C
11. B
13. E
15. B

Evaluasi Bab 7

1. E
3. C
5. A
7. C
9. E
11. C
13. D
15. E

Evaluasi Bab 8

1. C
3. C
5. E
7. D
9. D
11. B
13. B
15. D
17. C
19. C

INDEKS FISIKA KELAS XI

ISBN 978-979-068-166-8 (No. Jilid Lengkap)
ISBN 978-979-068-170-5

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BNSP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp8.551,-